

В. С. ВОЛОШИН

ВІДХОДИ
та їх
ПРИРОДА



Київ
Маріуполь
2024

*Закон — ніщо інше,
як формалізована мораль*
Б. Є. Патон

*The law is nothing more
than a formalized morality*
B. Y. Paton

*Закон — это ничто иное,
как формализованная мораль*
Б. Е. Патон

В. С. ВОЛОШИН

ВІДХОДИ
та їх
ПРИРОДА

(видання друге, доповнене, перероблене)

Київ
Маріуполь
2024

УДК 658.567:504.03

В 686

Офіційні рецензенти:

Гриценко Анатолій Володимирович, доктор географічних наук, професор, директор Українського науково-дослідного інституту проблем природокористування, заслужений діяч науки і техніки України

Коваленко Григорій Дмитрович, доктор фізико-математичних наук, директор Інституту високих енергій та ядерної фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут», лауреат Державної премії України.

Селіванов Станіслав Євгенович, доктор технічних наук, професор, віце-президент Українського національного відділення МАНЕБ,

Волошин В. С.

В 686 Відходи та їх природа. (Изд. второе, дополненное, переработанное). Киев : ФООП Самченко А.М., 2024, — 630 с.

ISBN 978-617-8413-03-3

Книга є другим, оновленим і доповненим виданням авторської монографії «Природа утворення відходів. Додаток до управління відходами», опублікованої у 2007 році. Робота отримала визнання в науковому співтоваристві як в Україні, так і за кордоном, в Німеччині, США, Польщі, Угорщині, Литві, як фундаментальне дослідження з питань, пов'язаних із сутністю такого явища, як утворення промислових відходів, світооглядовими проблемами, пов'язаними з неминучістю появи відходів, перспективами їх знищення, переробкою в світлі сучасних тенденцій, спрямованих на мінімізацію цього продукту людської діяльності. У другому виданні монографії автор доповнив роботу новими дослідженнями виключно в охопленій галузі знань, надавши основного значення конкретизації сутності феномена утворення відходів у виробничих системах. Розширено знання щодо ентропії цих процесів, уточнено і значно посилено аспекти, спрямовані на розуміння внутрішніх фізичних, зокрема, енергетичних, а також економічних процесів, що призводять до утворення відходів. За роки, що минули з моменту появи першого видання, автором і колективом співробітників були проведені численні дослідження в галузі найрізноманітніших штучних технологій, на практиці апробовані розроблені і доопрацьовані методи досліджень в області мінімізації відходів, оцінки теоретичного мінімуму утворення відходів. Вдячний за працю і діяльність моїм колегам, доктору фізико-математичних наук. Коваленко Г. Д., професору Капустіну О. Є. і доценту Данилові Т. Г., які надавали багато ідей і розробок, що наведені в книзі і на які автор спирався в своїх дослідженнях. Подібні дослідження, крім усього іншого, привели до розгляду нового перспективного напрямку в області сучасної екології — ретроскології, науки про утворення відходів у древніх технологіях.

Монографія призначена для наукових працівників, студентів та аспірантів, які спеціалізуються на тематиці наукових досліджень. Робота вимагає певної спеціалізованої підготовки з термодинаміки, економіки, математики, схильності до аналітичного мислення та допитливості.

УДК 658.567:504.03

ISBN 978-617-8413-03-3

V. S. VOLOSHYN

**WASTE
and its
NATURALITY**

(second edition, supplemented, revised)

В. С. ВОЛОШИН

**ОТХОДЫ
И ИХ
ПРИРОДА**

(издание второе, дополненное, переработанное)

Official reviewers:

Hrytsenko Anatolii Vladimirovich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Director of the Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine;

Kovalenko Grigoriy Dmitrievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Institute of High Energy and Nuclear Physics NSC «Kharkov Institute of Physics and Technology», laureate of the State Prize of Ukraine;

Selivanov Stanislav Evgenyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-President of Ukrainian National Branch of IASHE.

The book is the second, revised and supplemented edition of the author's monograph «The Nature of Waste Generation (Applied to Waste Management)», published in 2007. This work has been recognized in the scientific community both in Ukraine and abroad, in Germany, USA, Poland, Hungary, Lithuania, among scientists of Russia, as a fundamental research of the essence of such phenomenon as industrial waste formation, world outlook problems, connected with inevitability of waste formation, perspectives of its destruction, processing in light of modern tendencies, aimed at minimization of this product of human activity. In the second edition of the monograph the author supplemented the work with new researches exclusively in the covered field of knowledge, giving the main importance to concretization of the essence of the phenomenon of waste formation in production systems. Knowledge of the energy-entropy of these processes has been expanded, and aspects aimed at understanding the internal physical, in particular energy, as well as economic processes that lead to waste formation have been clarified and substantially strengthened. In the years that have passed since the first edition appeared, the author and his team have carried out numerous studies in the field of a variety of artificial technologies, tested in practice the developed and refined methods of research in the field of waste minimization, evaluation of the theoretical minimum of waste generation. I am grateful to the work and activity of my colleagues, Doctor of Physical and Mathematical Sciences Kovalenko G. D., Professor Kapustin A. E. and Associate Professor Danilova T. G., who contributed many of the ideas and developments, which are given in the book and on which the author relied in his research. Such studies, among others, led to the designation of a new promising direction in the field of modern ecology — retroecology, the science of waste generation in ancient technologies.

The monograph is intended for researchers, undergraduate and graduate students specializing in the subject of research. The work requires some special training in thermodynamics, economics, mathematics, inclination to analytical thinking and curiosity.

Официальные рецензенты:

Гриценко Анатолий Владимирович, доктор географических наук, профессор, директор Украинского научно-исследовательского института экологических проблем, Заслуженный деятель науки и техники Украины;

Коваленко Григорий Дмитриевич, доктор физико-математических наук, директор института высоких энергий и ядерной физики ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Лауреат государственной премии Украины;

Селиванов Станислав Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, вице-президент Украинского национального отделения МАНЭБ.

Книга является вторым, уточненным и дополненным изданием монографии автора «Природа отходообразования. Приложение к управлению отходами», вышедшей в 2007 году. Работа получила признание в научной среде как в Украине, так и за рубежом, в Германии, США, Польше, Венгрии, Литве, среди ученых России, в качестве фундаментального исследования по вопросам, касающимся сущности такого явления, как образование промышленных отходов, мировоззренческих проблем, связанных с неизбежностью появления отходов, перспектив их уничтожения, переработки в свете современных тенденций, направленных на минимизацию этого продукта человеческой деятельности. Во втором издании монографии автор дополнил работу новыми исследованиями исключительно в охватываемой области знаний, придав основное значение конкретизации сущности явления отходообразования в производственных системах. Расширены знания относительно энергоэнтропии этих процессов, уточнены и существенно усилены аспекты, направленные на понимание внутренних физических, в частности, энергетических, а также экономических процессов, приводящих к отходообразованию. За годы, прошедшие после появления первого издания, автор и коллектив сотрудников выполнили многочисленные исследования в области самых различных искусственных технологий, на практике апробировали разработанные и уточненные методики исследования в области минимизации отходов, оценки теоретического минимума отходообразования. Я благодарен труду и активности моим коллегам, доктору физ.-мат. наук Коваленко Г. Д., профессору Капустину А. Е. и доценту Даниловой Т. Г., перу которых принадлежат многие из идей и разработок, которые приведены в книге и на которые опирался в своих исследованиях автор. Подобные исследования, в том числе, привели к обозначению некоторого нового перспективного направления в области современной экологии — ретроэкологии, науки об отходообразовании в древних технологиях.

Монография рассчитана на научных работников, студентов и аспирантов, специализирующихся на предмете исследования. Работа требует некоторой специальной подготовки в области термодинамики, экономики, математики, склонности к аналитическому мышлению и любознательности.

Волошин В'ячеслав Степанович — доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної академії наук екології та безпеки життєдіяльності, дійсний член Нью-Йоркської академії наук, почесний професор Віденського університету економіки та бізнесу, почесний дійсний член Академії економічних наук України, Міжнародної кадрової академії та Академії наук вищої освіти України. Сфера наукових інтересів — екологія великих міст та промислові регіони; проблеми складних еколого-економічних систем; вивчення «чорних пісків» Азовського моря; природа утворення відходів у виробничих системах; аварійна діагностика технічних систем. Автор та співавтор двадцяти чотирьох монографій та підручників за напрямками науково-педагогічної діяльності.

Voloshyn Vyacheslav Stepanovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist and Technician of Ukraine, Academician of the International Academy of Ecology and Life Safety Sciences, Full Member of the New York Academy of Sciences, Honorary Professor of the Vienna University of Economics and Business, Honorary Full Member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, International Academy of Personnel and Academy of Higher School of Ukraine. Research interests - ecology of large cities and industrial regions; problems of complex environmental and economic systems; research «black sands» of Azov region; nature of waste generation in production systems; emergency diagnostics of technical systems. Author and co-author of twenty-four monographs and textbooks in the areas of scientific and pedagogical activities.

Волошин Вячеслав Степанович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, действительный член Нью-Йоркской академии наук, Почетный профессор Венского университета экономики и бизнеса, Почетный действительный член академии экономических наук Украины, Международной кадровой академии и академии высшей школы Украины. Область научных интересов — экология больших городов и промышленных регионов; проблемы сложных эколого-экономических систем; исследования «черных песков» Приазовья; природа отходообразования в производственных системах; аварийная диагностика технических систем. Автор и соавтор двадцати четырех монографий и учебников по направлениям научной и педагогической деятельности.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	21
Від автора.....	27
ВСТУП.....	31
1. Роль і місце феномена утворення відходів у системі природознавства.....	59
1.1. Поняття відходів.....	60
1.2. Сучасні особливості виробництва при існуючих технологічних укладах з позицій процесів утворення відходів	73
1.3. Поняття і властивості матеріальних потоків утворення відходів ..	80
1.4. Особливості управління з потоками утворення відходів	85
2. Дослідження факторів, що впливають на процеси утворення відходів	95
2.1. Експериментальні дослідження процесів утворення відходів ...	96
2.2. Досвід впровадження підходів щодо вирішення проблеми мінімізації відходів у джерелі походження	123
2.3. Особливості утворення відходів при використанні тарно-пакувальних матеріалів, одноразових предметів та витратних матеріалів	130
3. Особливості функціонування системи «людина — промислові відходи»	139
3.1. Біоенергетичні основи предмета дослідження	140
3.2. Управління ризиками при поводженні з промисловими відходами ..	160
4. Інформаційні механізми переваг у виборі цілей і завдань у сфері поводження з відходами	171
5. Енергетика утворення відходів у виробничих системах	181
5.1. Загальні положення	182
5.2. Місце виробничих систем у термодинамічному різноманітті ..	184
5.3. Особливості енергоентропійної теорії у застосуванні до явищ утворення відходів	197
5.4. Деякі закономірності впливу енергетики виробничого процесу на утворення відходів	206
5.5. Дослідження проблеми Тюрінга щодо відходоутворюючих виробничих систем	214

5.6. Особливості зовнішнього енергетичного збудження бруселятора як один із можливих механізмів мінімізації утворення відходів в осередку виникнення.	222
6. Принцип термодинамічної двоєдності як основа технологічного процесу	231
6.1. Актуалізація другого закону термодинаміки в сучасних галузях знань	233
6.2. Вплив умов термодинамічної нерівноважності виробничої системи на процеси утворення відходів	238
6.3. Сміслові значення умови термодинамічної нерівноважності в технологічних процесах	257
6.4. Мінімізація утворення відходів у джерелі походження – сучасний виклик у технологічних процесах	259
6.5. Перспективи методологій мінімізації відходів у джерелі їх виникнення	264
7. Особливості формування сировинної бази виробничої системи з точки зору процесів утворення відходів	277
7.1. Сировинна база доменного виробництва.	279
7.2. Сировина коксохімічного виробництва	286
7.3. Специфіка утворення відходів у транспортно-логістичних операціях	289
7.4. Особливості формування сировинної бази суміжних виробництв та їх характеристика як джерел утворення відходів	293
8. Управління потоками сировини для мінімізації утворення відходів біля джерела утворення	297
8.1. Загальні положення	298
8.2. Регульовані властивості потоків утворення відходів у виробничих системах	300
8.3. Структурні модифікації сировини з точки зору управління процесами утворення відходів	306
8.4. Стародавні технології виноробства та сироваріння	313
8.5. Математична модель руху фосфоровмісних матеріальних потоків у металургії.	321
8.6. Поводження з відходами в сучасних технологіях розкрою	327
8.7. Мінімізація ентропії в технологіях листового кроєння як показник зменшення відходів у джерелі походження	334
8.8. Замкнутий цикл потоків утворення відходів у технологіях вирощування культурних рослин	345

9. Досвід впровадження методів оцінки утворення відходів у виробничих системах	351
9.1. Особливості будівельних галузей і виробництва будівельних матеріалів для переробки накопичених відходів.	352
9.2. Особливості технологій будівництва єгипетських пірамід з точки зору процесів утворення відходів	358
9.3. Відходи в будівельній галузі Стародавнього Риму	364
9.4. Технологічні процеси утворення відходів при біологічному очищенні	369
9.5. Особливості утворення відходів у нанотехнологіях	374
9.6. Деякі сучасні підходи до контролю якості питної води	384
9.7. Відходи в технологіях переробки відходів	390
9.8. Багатоциклова переробка відходів. Від ідеї до практики.	394
9.9. Умови термодинамічної двоєдності в сучасних технологіях переробки побутових відходів	397
9.10. Порівняльний аналіз термодинаміки організму людини з позицій утворення відходів з умовами штучних технологій.	402
10. Енергетичні та економічні особливості процесу утворення відходів	413
10.1. Економічні моделі виробництва продукції та утворення відходів.	414
10.2. Енергетична ефективність процесів утворення відходів	422
10.3. Термодинаміка утворення відходів та стратегія розвитку сучасних енергетичних технологій	429
11. Особливості утворення відходів з позицій закономірностей розвитку технічних систем.	439
11.1. Закономірності розвитку технічних систем як джерело різноманітності технологічних процесів	440
11.2. Правило повноти окремих частин системи	448
11.3. Умова енергетичної провідності системи.	450
11.4. Підвищення ступеня ідеальності системи	451
11.5. Стан переходу в надсистему	455
11.6. Узгодження-неузгодження технічних систем як напрямок зменшення утворення відходів	459
11.7. Зменшення утворення відходів за рахунок динамізації елементів системи	461
11.8. Використання закономірностей переходу технічних систем з макрорівня на мікрорівень	462

11.9. Використання нерівномірності розвитку окремих частин технічної системи для мінімізації утворення відходів	464
11.10. Модель «інструмент — продукт» у процесах утворення відходів.	466
12. Роль екологічних циклів у розумінні механізмів утворення відходів	471
12.1. Загальні відомості про екологічні цикли	472
12.2. Екологічні цикли та закони Коммонера	482
12.3. Математичні моделі виробництва та матеріального обміну в екологічних циклах	488
12.4. Екологічні цикли з позицій енергоентропійних систем	498
12.5. Роль флуктуацій у стійкості екологічних циклів	507
13. Формування механізмів утворення відходів у виробничих системах	521
13.1. Систематизація знань і методологія дослідження	522
13.2. Мінімізація відходів у технології виробництва деревного вугілля	549
14. Застосування теорії графів в управлінні потоками промислових відходів	557
14.1. Математична модель потоків утворення відходів мовою теорії графів.	559
14.2. Методика управління потоками відходів на прикладах	562
14.3. Мінімізація потоків утворення відходів при виробництві доменного шлаку	579
ВИСНОВОК	586
ЛІТЕРАТУРА	606

CONTENTS

FOREWORD	21
From the author	27
INTRODUCTION	31
1. The Role and Place of the Waste Phenomenon in the Natural Science System	59
1.1. Concept of waste	60
1.2. Modern peculiarities of production in existing technological modes from the perspective of waste generation processes	73
1.3. The concept and properties of material waste streams	80
1.4. Features of waste stream management	85
2. Study of factors affecting waste generation processes	95
2.1. Experimental studies of waste generation processes	96
2.2. Experience with approaches to solving the problem of minimizing waste at the source	123
2.3. Particulars of waste generation when using container-packing materials, disposable items and consumables	130
3. Peculiarities of functioning of the system «human-industrial waste» ...	139
3.1. Bioenergetic basics of the subject	140
3.2. Risk management in industrial waste handling	160
4. Information mechanisms of preferences in the choice of goals and objectives in waste management.	171
5. Waste energy in production systems	181
5.1. General provisions.....	182
5.2. The place of production systems in thermodynamic diversity	184
5.3. Peculiarities of the energy-entropic theory as applied to the phenomena of waste generation	197
5.4. Some regularities of the influence of the energy of the production process on its waste generation	206
5.5. A study of the Turing problem for waste-producing production systems	214
5.6. Peculiarities of external energy excitation of the brusselator as one of the possible mechanisms of suppression of waste in the source of origin	222

6. The principle of thermodynamic duality as the basis of the technological process	231
6.1. Actualization of the second principle of thermodynamics in modern fields of knowledge	233
6.2. Influence of thermodynamic disequilibrium conditions of the production system on waste generation processes	238
6.3. Meaning of the condition of thermodynamic disequilibrium in technological processes	257
6.4. Minimizing waste at the source — a modern challenge in process engineering	259
6.5. Perspectives on Waste Minimization Methodologies at the source of their origin	264
7. Peculiarities of formation of the raw material base of the production system in terms of waste generation processes	277
7.1. Raw material base of sintering and blast furnace production	279
7.2. Raw materials for coke production	286
7.3. Specifics of waste generation in transport and logistics operations.	289
7.4. Peculiarities of formation of the raw material base of related industries and their characteristics as sources of waste generation	293
8. Feedstock flow management to suppress waste generation at the source of generation	297
8.1. General provisions	298
8.2. Controllable properties of the flow of heating in production systems	300
8.3. Structural modifications of raw materials in terms of waste management	306
8.4. Ancient winemaking and cheese-making techniques.	313
8.5. Mathematical model of phosphorus-containing material flows in metallurgy	321
8.6. Waste management in modern nesting technology	327
8.7. Entropy Minimization in Sheet Metal Cutting Technologies as an Indicator for Reducing Waste Generation at the Source	334
8.8. Closed Loop Waste Streams in Cultivation Technologies	345
9. Experience in the implementation of waste assessment methods in production systems	351
9.1. Features of construction industries and the production of building materials for the processing of accumulated waste	352
9.2. Peculiarities of Egyptian pyramids construction technologies in terms of waste	358

9.3. Waste in the construction industry of ancient Rome	364
9.4. Technological processes of waste generation in biological treatment.	369
9.5. Peculiarities of waste generation in nanotechnology.	374
9.6. Some approaches to drinking water quality control from the perspective of energy-entropics	384
9.7. Waste in recycling technologies	390
9.8. Multi-cycle recycling. From idea to practice.	394
9.9. Conditions of thermodynamic duality in modern technologies of domestic waste recycling	397
9.10. Comparative analysis of the thermodynamics of the human body from the perspective of waste production and in comparison with artificial technologies	402
10. Energy and economic characteristics of the waste generation process	413
10.1. Economic models of production and waste generation	414
10.2. Energy efficiency of the waste generation process	422
10.3. Thermodynamics of Waste Generation and the Development Strategy of Modern Energy Technologies	429
11. Peculiarities of waste generation from the perspective of the laws of technical systems development	439
11.1. Regularities in the development of technical systems as a source of the diversity of technological processes	440
11.2. The rule of completeness of parts of the system	448
11.3. The condition of energy conductivity of the system.	450
11.4. Increasing the degree of system ideality	451
11.5. Transition state to the supersystem	455
11.6. Reconciliation-disconciliation of technical systems as a way to reduce waste generation	459
11.7. Reducing waste generation by dynamizing the system elements . . .	461
11.8. Using the regularities of the transition of technical systems from the macro to the micro level.	462
11.9. Using the uneven development of parts of the technical system to minimize waste generation	464
11.10. The «tool – product» model in waste generation processes	466
12. The Role of Ecological Cycles in Understanding Waste Generation Mechanisms	471
12.1. General information about ecological cycles	472
12.2. Ecological Cycles and Commoner's Laws	482

12.3. Mathematical models of production and material exchange in ecological cycles	488
12.4. Ecological cycles from the perspective of energy-entropic systems	498
12.5. The role of fluctuations in the stability of ecological cycles	507
13. Formation of Waste Generation Mechanisms in Production Systems	521
13.1. Systematization of knowledge and research methodology	522
13.2. Minimizing waste in charcoal production technology	549
14. Application of graph theory in the management of industrial waste streams	557
14.1. Mathematical model of waste generation streams in the language of graph theory	559
14.2. Methodology for managing waste streams in examples	562
14.3. Minimization of waste generation streams in the production of blast furnace slag	579
CONCLUSION	586
LITERATURE	606

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	21
От автора	27
ВВЕДЕНИЕ	31
1. Роль и место явления отхоодообразования в системе естествознания	59
1.1. Понятие отходов	60
1.2. Современные особенности производства при существующих технологических укладах с позиций процессов отхоодообразования	73
1.3. Понятие и свойства материальных потоков отхоодообразования ..	80
1.4. Особенности управления потоками отхоодообразования	85
2. Исследование факторов, влияющих на процессы отхоодообразования	95
2.1. Экспериментальные исследования процессов отхоодообразования	96
2.2. Опыт реализации подходов к решению задачи минимизации отходов в источнике возникновения	123
2.3. Особенности отхоодообразования при использовании тарно-упаковочных материалов, предметов одноразового применения и расходных материалов	130
3. Особенности функционирования системы «человек — промышленный отход»	139
3.1. Биоэнергетические основы предмета исследования	140
3.2. Управление риском при обращении с промышленными отходами	160
4. Информационные механизмы предпочтений в выборе целей и задач при обращении с отходами	171
5. Энергетика отхоодообразования в производственных системах ..	181
5.1. Общие положения	182
5.2. Место производственных систем в термодинамическом многообразии	184

5.3. Особенности энергоэнтропийной теории в приложении к явлениям отхоодообразования	197
5.4. Некоторые закономерности влияния энергетики производственного процесса на его отхоодообразование.	206
5.5. Исследование задачи Тьюринга для отхоодообразующих производственных систем.	214
5.6. Особенности внешнего энергетического возбуждения брьюсселятора, как один из возможных механизмов минимизации отхоодообразования в источнике возникновения	222
6. Принцип термодинамического двуединства, как основа технологического процесса	231
6.1. Актуализация второго начала термодинамики в современных областях знаний	233
6.2. Влияние условий термодинамической неравновесности производственной системы на процессы отхоодообразования . . .	238
6.3. Смысловое значение условия термодинамического неравновесия в технологических процессах	257
6.4. Минимизация отхоодообразования в источнике возникновения — современный вызов в технологических процессах	259
6.5. Перспективы методологий минимизации отходов в источнике их возникновения.	264
7. Особенности формирования сырьевой базы производственной системы с точки зрения процессов отхоодообразования	277
7.1. Сырьевая база аглодоменного производства	279
7.2. Сырье коксохимического производства	286
7.3. Специфика отхоодообразования при транспортно-логистических операциях	289
7.4. Особенности формирования сырьевой базы сопутствующих производств и их характеристика как источников отхоодообразования	293
8. Управление потоками сырья для минимизации отхоодообразования в источнике образования возникновения . . .	297
8.1. Общие положения	298
8.2. Управляемые свойства потоков отодообразования в производственных системах.	300
8.3. Структурные модификации и сырья с точки зрения управления процессами отхоодообразования	306
8.4. Древние технологии виноделия и сыроварения.	313

8.5. Математическая модель движения фосфорсодержащих материальных потоков в металлургии	321
8.6. Управление отходами в современных технологиях раскря	327
8.7. Минимизация энтропии в технологиях раскря листового материала, как показатель снижения отхообразования в источнике возникновения.	334
8.8. Замкнутый цикл потоков отхообразования в технологиях выращивания культурных растений	345
9. Опыт реализации методов оценки отхообразования в производственных системах	351
9.1. Особенности строительных индустрий и производства строительных материалов для переработки накопленных отходов	352
9.2. Особенности технологий строительства египетских пирамид с точки зрения отхообразования	358
9.3. Отходы в строительной индустрии Древнего Рима	364
9.4. Технологические процессы отхообразования при биологической очистке	369
9.5. Особенности отхообразования в нанотехнологиях	374
9.6. Некоторые подходы к контролю за качеством питьевой воды с позиций энергоэнтропии	384
9.7. Отходы в технологиях переработки отходов	390
9.8. Многоцикловая переработка отходов. От идеи до практики.	394
9.9. Условия термодинамического двуединства в современных технологиях переработки бытовых отходов.	397
9.10. Сравнительный анализ термодинамики человеческого организма с позиций отхообразования и в сопоставлении с искусственными технологиями	402
10. Энерго-экономические особенности процесса отхообразования	413
10.1. Экономические модели продуцирования и отхообразования.	414
10.2. Энергетическая эффективность процесса отхообразования.	422
10.3. Термодинамика отхообразования и стратегия развития современных энергетических технологий	429
11. Особенности отхообразования с позиций закономерностей развития технических систем	439
11.1. Закономерности развития технических систем, как источник многообразия технологических процессов	440

11.2. Правило полноты частей системы	448
11.3. Условие энергетической проводимости системы.	450
11.4. Увеличение степени идеальности системы	451
11.5. Состояние перехода в надсистему	455
11.6. Согласование-рассогласование технических систем как направление снижения отхоодообразования	459
11.7. Снижение отхоодообразования за счет динамизации элементов системы	461
11.8. Использование закономерностей перехода технических систем с макроуровня на микроуровень	462
11.9. Использование неравномерности развития частей технической системы для минимизации отхоодообразования	464
11.10. Модель «инструмент — изделие» в процессах отхоодообразования.	466
12. Роль экологических циклов в понимании механизмов отхоодообразования	471
12.1. Общие сведения об экологических циклах	472
12.2. Экологические циклы и законы Коммонера.	482
12.3. Математические модели производства и материального обмена в экологических циклах.	488
12.4. Экологические циклы с позиций энергоэнтропийных систем .	498
12.5. Роль флуктуаций в устойчивости экологических циклов	507
13. Формирование механизмов отхоодообразования в производственных системах	521
13.1. Систематизация знаний и методика исследования	522
13.2. Минимизация отходов в технологии получения древесного угля	549
14. Применение теории графов в управлении потоками промышленных отходов	557
14.1. Математическая модель потоков образования отходов на языке теории графов.	559
14.2. Методология управления потоками отходов в примерах.	562
14.3. Минимизация потоков образования отходов при производстве доменного шлака.	579
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	586
ЛИТЕРАТУРА	606

ПЕРЕДМОВА

Причини написання другого видання цієї монографії обґрунтовані вузькоспеціалізованим інтересом, який був викликаний першим виданням цієї праці у 2007 році. Оскільки за час, що минув з моменту публікації першої версії, пройшло більше п'ятнадцяти років, упродовж яких було проведено безліч досліджень, які певною мірою підтверджують і розширюють знання про предмет дослідження, і які певною мірою спростували або уточнили отримані раніше результати.

Оновлена назва книги, яка повністю зберігає свій первісний зміст, сприяє осмисленому акцентуванню порушених проблем, що є непростими, і, на думку автора, повинна привертати більше уваги до викладеного матеріалу. Це все ще книга про прикладну екологію. Про ту її частину, яка стосується механізмів утворення та управління відходами. Безсумнівну актуальність теми підтверджують численні дослідження в області локалізації накопичення відходів, оптимізації їх зберігання, мінімізації відходів при їх утворенні. Такі питання кочують від однієї книги до іншої, пропонуються певні наукові результати і рішення. Але проблема залишається. Людство не може позбутися навіть десятої частини накопичених відходів, які забруднюють довкілля. І продовжує накопичувати їх у геометричній прогресії, відповідаючи темпам розвитку сучасної промисловості. Тому будь-які дослідження, що дозволяють довести цю галузь науки до нових якісних результатів, можна тільки вітати.

Друге видання монографії, в якому враховано результати численних досліджень у цій сфері, ще більше підкреслює цю спрямованість і є новим, нестандартним підходом до вирішення проблем поводження з відходами. Але тільки на перший погляд. Адже початкові передумови досліджень, які були проведені автором, були викладені в багатьох національних і міждержавних документах про відходи. Ці документи, в свою чергу, базуються на дослідженнях з питань мінімізації відходів, поводження з відходами, переробки, припинення тощо.

Важливим результатом представленої роботи є акцент, зроблений автором на фундаментальному характері проблем утворення відходів у загальній системі природознавства. Як це вдалося — вирішувати читачеві, але сама спроба гідна поваги.

Запропоновані методи пошуку механізмів і принципів утворення відходів у промисловості, акцент на відходи як матеріальний потік, що прирівнюється до інших потоків, існуючих у виробничих системах, енергетичні та економічні особливості утворення відходів — все це викликає інтерес до роботи, обумовлює необхідність подальших досліджень у даному напрямку. Окремі положення, запропоновані автором, можуть бути суперечливими і повинні обговорюватися. Однак в цілому робота є повноцінною науковою працею, яка викличе безсумнівний інтерес фахівців.

Звернемося тут до слів Н. Ф. Реймерса, який у 1994 році говорив про те, що фахівцям-екологам доводиться із заздністю дивитися на ті галузі науки, які приносять людям мінімум користі, але користуються високим науковим визнанням. Екологія поки не входить в їх число. Поки що. Оскільки за ступенем впливу на економічні, соціальні, політичні процеси в суспільстві ця галузь знань геть не відповідає сходинці, що займає в науковій ієрархії. Я впевнений, що такі спроби, як ця книга, можуть сприяти підвищенню ролі наук про навколишнє середовище в суспільстві.

Лауреат Державної премії України,
Доктор фізико-математичних наук, професор
Г. Д. Коваленко
м. Харків

FOREWORD

The reasons that prompted the writing of the second edition of this monograph are justified by the highly specialized interest that was sparked by the first edition of this work in 2007. Because more than ten years have passed since the publication of the first version, during which many studies have been conducted that, to a certain extent, confirm and expand knowledge about the subject of research, and which, to some extent, refute or clarify the results obtained earlier.

The refined title of the book, which fully retains its original meaning, contributes to the substantive emphasis of the raised difficult problems and, according to the author's intention, should attract more attention to the material presented. This, as before, is a book about applied ecology. About that part of it, which relates to the mechanisms of formation and management of waste. Undoubted urgency of the topic is confirmed by numerous researches in the field of localization of waste accumulation, optimization of its storage, minimization of waste generation. Such questions wander from one book to another, certain scientific results and solutions are offered. But the problem remains. Mankind cannot get rid of even a tenth of the wastes that have accumulated over time and that pollute the environment in which they live. And it continues to accumulate them in geometric progression, corresponding to the rate of development of modern industry. Therefore, any research allowing to bring this field of science to new qualitative results can only be welcomed.

The second edition of the monograph, which takes into account the results of numerous studies in this area even more emphasizes this focus and is a new, non-standard approach to solving the problems of waste management. But only at first sight. Because the initial prerequisites of those researches, which were carried out by the author, were designated in many national and interstate documents on wastes. These documents, in turn, are based on researches on waste minimization, waste management, recycling, suppression, etc.

An important result in the presented work is the author's emphasis on the fundamentality of waste issues in the general system of natural science. How this was done is for the reader to judge, but the attempt itself is worthy of respect.

The proposed methods of searching mechanisms and principles of waste formation in industry, the emphasis on waste as a material flow equal to other flows existing in production systems, energy and economic features of waste formation — all this causes interest in the work, makes it necessary for further research in this area. Some provisions proposed by the author may be controversial, they should be discussed. However, in general, the work is a complete scientific work, which will be of undoubted interest to specialists.

Let us refer here to the words of N. F. Reimers, who said in 1994 that environmental professionals have to look with envy at those branches of science that provide people with a minimum of benefits, but enjoy high scientific recognition. Ecology is

not one of them yet. Yet. Because in terms of its impact on economic, social, political processes in the community, this field of knowledge is far from being adequately ranked in the scientific hierarchy. I am sure that attempts such as this book can help to increase the role of ecological sciences in society.

Laureate of the State Prize of Ukraine,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
G. D. Kovalenko
Kharkiv

ПРЕДИСЛОВИЕ

Причины, побудившие к написанию второго издания настоящей монографии, обоснованы узкоспециализированным интересом, который был вызван первым изданием этой работы в 2007 году. Потому, что за время, прошедшее после издания первой версии, прошло более пятнадцати лет, в течение которых было проведено множество исследований, в определенной степени подтверждающих и расширяющих знания о предмете исследований, и которые, в некоторой степени, опровергали или уточняли полученные ранее результаты.

Уточненное название книги, которое в полной мере сохраняет ее первоначальный смысл, способствует содержательному акцентированию поднимаемых непростых проблем и, по замыслу автора, должно привлечь больше внимания к изложенному материалу. Это, по-прежнему, книга о прикладной экологии. О той ее части, которая относится к механизмам образования и управления отходами. Безусловная актуальность темы подтверждается многочисленными исследованиями в области локализации накопления отходов, оптимизации их хранения, минимизации отходов при образовании. Подобные вопросы кочуют из одной книги в другую, предлагаются определенные научные результаты и решения. Но проблема остается. Человечество не может избавиться даже от десятой части накопленных за все времена отходов, которые загрязняют среду его обитания. И продолжает накапливать их в геометрической прогрессии, соответствующей темпам развития современной промышленности. Поэтому любые исследования, позволяющие вывести эту область науки на новые качественные результаты, могут только приветствоваться.

Второе издание монографии, учитывающее результаты многочисленных исследований в этой области еще в большей мере подчеркивает эту направленность и является новым, нестандартным подходом к решению проблем управления отходами. Но только на первый взгляд. Потому что исходные предпосылки тех исследований, которые были проведены автором, были обозначены во многих национальных и межгосударственных документах по отходам. В основе этих документов, в свою очередь, лежат исследования по минимизации отходов, управлению отходами, их переработке, подавлению и др.

Важным результатом в представленной работе является сделанный автором акцент на фундаментальности вопросов отходообразования в общей системе естествознания. Как это удалось — судить читателю, однако сама попытка достойна уважения.

Предложенные методы поиска механизмов и принципов образования отходов в промышленности, сделанный акцент на отход как материальный поток, равноправный с другими потоками, существующими в производственных системах, энергетические и экономические особенности образования отходов — все это вызывает интерес к работе, делает ее нужной при дальнейших исследованиях

в этой области. Отдельные положения, предлагаемые автором, могут являться спорными, их следует обсуждать. Однако в целом работа представляет собой законченный научный труд, который вызовет несомненный интерес специалистов.

Сошлемся здесь на слова Н. Ф. Реймерса, который в 1994 году сказал, что профессионалам-экологам приходится с завистью смотреть на те отрасли науки, которые несут людям минимум благ, но пользуются высоким научным признанием. Экология пока к ним не относится. Пока. Потому что по степени воздействия на экономические, социальные, политические процессы в сообществе эта область знаний занимает далеко не адекватную ступень в научной иерархии. Уверен, что такие попытки, как эта книга, могут способствовать повышению роли экологических наук в обществе.

Лауреат государственной премии Украины,
доктор физ.-мат. наук, профессор
Г. Д. Коваленко
г. Харьков

ВІД АВТОРА

Запропонована увазі читача книга підготовлена у вигляді другого видання монографії «Природа утворення відходів (додаток до управління відходами)», переробленої та доповненої новими дослідженнями в галузі мінімізації відходів. Робота включає в себе нові розділи, які відображають і уточнюють сучасні знання в області феномена появи відходів в процесі виробництва. Ці нові знання з'явилися за останні 16 років з моменту першого видання. Зокрема, це з'ясування ролі термодинамічних явищ у процесах утворення відходів, систематизація існуючих технологій і процесів отримання продуктів з точки зору закономірностей появи в них відходів. Є результати, пов'язані з дослідженнями мінімального рівня відходів у найрізноманітніших галузях промисловості. Розширено спектр прикладів, за допомогою яких можна проаналізувати методику мінімізації відходів шляхом їх придушення в джерелі походження, тобто в самому процесі виробництва.

Автор все ж не відступав від власних принципів викладу матеріалу і шукав доступний і за можливості наочний опис основних ідей, методологічних підходів і пояснень отриманих результатів. На прикладах розроблених методів, інтерпретації існуючих методів, на численних і простих прикладах з прикладних областей читач має можливість ознайомитися з особливостями розробленого напрямку.

В останні роки матеріали монографії продовжували обговорюватися з колегами з Німеччини, України, Польщі, з представниками різних галузей науки та практики, на наукових конференціях різного рівня і стали приводом, що спонукав автора до видання другого, доповненого і переробленого видання цієї книги.

Автор висловлює вдячність професору Григоренку Г. М., професору Капустіну О. Є., професору В. Петцке (Німеччина) та А. І. Кришталь за критичні зауваження та допомогу в підготовці другого видання монографії.

FROM THE AUTHOR

This book has been prepared as the second edition of the monograph «The Nature of Waste Generation (Applied to Waste Management)», revised and supplemented by new research in the field of waste minimization. The work includes new sections reflecting and clarifying current knowledge on the phenomenon of waste occurrence in the production process. This new knowledge has emerged over the past 16 years since the first edition was published. In particular, it is clarification of the role of thermodynamic phenomena in waste generation processes, systematization of existing technologies and processes of production in terms of regularities of waste occurrence in them. The results connected with research of the minimum level of waste in the most various productions have appeared. The range of examples with which the methodology of waste minimization by their suppression in the source of their appearance, i. e., in the production process itself, can be analyzed more substantially has been expanded.

The author, as before, did not deviate from his own principles of presenting the material and tried to describe the main ideas, methodological approaches and explanations of the obtained results in an accessible and, as far as possible, visual way. By the examples of developed methods, interpretation of existing methods, numerous and simple examples from applied fields the reader has an opportunity to get acquainted with the peculiarities of the developed direction.

In recent years, the materials of the monograph have continued to be discussed with colleagues from Germany, Ukraine, Poland, with representatives of various fields of science from Russia, Belarus, at scientific conferences at various levels, and were the reason that prompted the author to publish a second, supplemented and revised edition of this book.

The author is grateful to Professor Grigorenko G. M., Professor Kapustin A. E., Professor W. Petzke (Germany) and A. I. Kryshtal for critical comments and help in preparing the second edition of the monograph.

ОТ АВТОРА

Предлагаемая вниманию читателя книга подготовлена как второе издание монографии «Природа отходообразования (в приложении к управлению отходами)», переработанная и дополненная новыми исследованиями в области минимизации отходов. В работу вошли новые разделы, отражающие и уточняющие современные знания в области явления появления отходов в производственном процессе. Эти новые знания появились за последние 16 лет со времени выпуска первого издания. В частности, это уточнение роли термодинамических явлений в процессах отходообразования, систематизация существующих технологий и процессов получения продукции с точки зрения закономерностей появления в них отходов. Появились результаты, связанные с исследованиями минимального уровня отходов в самых различных производствах, расширен спектр примеров, с которыми можно более предметно анализировать методологию минимизации отходов путем подавления их в источнике возникновения, то есть в самом производственном процессе.

Автор по-прежнему не отходил от собственных принципов подачи материала и стремился к доступному и, по возможности, наглядному описанию основных идей, методологических подходов и объяснений полученных результатов. На примерах разработанных методик, интерпретации существующих методов, на многочисленных и простейших примерах из прикладных областей читатель имеет возможность познакомиться с особенностями развиваемого направления.

За последние годы материалы монографии продолжали обсуждаться с коллегами из Германии, Украины, Польши, с представителями различных областей науки и практики, на научных конференциях самого различного уровня и явились причиной, побудившей автора к публикации второго, дополненного и переработанного издания этой книги.

Автор выражает благодарность профессору Григоренко Г. М., профессору Капустину А. Е., профессору В. Петцке (Германия) и А. И. Кришталь за критические замечания и помощь в подготовке второго издания монографии.

ВСТУП

Відходи та їх природа, причини і джерела їх появи, неминучість цього явища, умови, при яких вони зберігаються, їх властивості. Все це, як правило, знаходиться за межами сфери інтересів сучасних прикладних наук. Проте ця захоплююча область знань не тільки пізнавальна, але може принести суспільству абсолютно нові способи співіснування з природою, нові принципи економічної організації, мінливе ставлення до правил існування споживацького суспільства, нові правила життя людини на цій планеті.

Людському суспільству завжди не вистачало здорового глузду, щоб прислухатися до певних наукових результатів, які не збігаються з загальноприйнятою думкою і не тільки в утилітарному контексті, а й, в деякому роді, в певному ідеологічному сенсі, особливо якщо воно відноситься до життєзабезпечуючих суб'єктів, до самого принципу існування цього суспільства як ефективної даності. Так було в ядерній фізиці з розщепленим атомом, в мікробіології з аутомутаціями і штучними вірусами, так було з областю медицини, що стосується клонування живих організмів. Подібні стереотипи і заперечення з'явилися і в археології та історичній хронології П. Петавіуса, та І. Скалігера, Н. О. Морозова і А. П. Фоменка обмежували розвиток найважливіших напрямків медицини, соціополітики, інженерії в її прикладних аспектах і т. д.

Після виходу в світ першого видання монографії «Природа утворення відходів, ...» у наукових колах виявлявся інтерес до порушених в ньому питань сутності відходів, процесів утворення відходів, того місця, яке займає ця проблема в сучасному природознавстві. Але в той же час дуже прохолодно поставилися до цієї роботи інженери-практики, прикладні дослідники, робота яких безпосередньо пов'язана з новим або існуючим виробництвом товарної продукції в безлічі різних різновидів, і, в той же час, виробництвом ще більшого асортименту відходів. І це при тому, що негативна роль промислових відходів в світі ніким не заперечується і продовжує загострюватися навіть не в арифметичній прогресії. За шістнадцять Роки, що минули з моменту публікації першого видання монографії, кількість найменувань нових назв відходів зросла з 153 тисяч одиниць до 215 тисяч одиниць, при збільшенні асортименту товарної продукції всього на 25%, а на кожну тонну побутових відходів в світі припадає вже 71 тонна промислових відходів [1]. Інших аргументів на користь різкого збільшення уваги до питань мінімізації промислових відходів просто немає.

Розуміння природи утворення відходів начебто вимагає розуміння людської природи, але ця проблема, якій присвятили свої роботи стародавні ассирійці і греки, вчені-схоласти і сучасні філософи (але не інженери), не має точного рішення. Мабуть, тому, що вектор людського пізнання — це неімовірна перспектива.

З точки зору теми даного твору, людина є частиною екосистеми Землі. Головною його відмінністю від решти живого світу є наявність розуму, логічного мислення, надрозвиненої (і такою, що і надалі швидко розвивається) системи обміну інформацією всередині людської спільноти, вміння пристосовувати природне середовище до своїх потреб, використовувати природні джерела енергії в своїх цілях. Жодна з цих якостей не є характерною ознакою щодо інших наших сусідів у екосистемі Землі.

Людина винайшла такі технічні, біологічні, соціальні та інші системи, які ніколи раніше не існували в природі, до них відносяться штучне землеробство, примусове тваринництво, гірничодобувна та енергетична системи, глобальні транспортні системи (дороги, залізничні колії, аеропорти і судноплавні морські і річкові артерії і канали), міста, мегаполіси і заводи, нарешті.

І людина «придумала» відходи в якості супровідної візитної картки своєї діяльності.

У природі існує всього 5–6 реальних технологічних процесів, які є основою для розвитку різноманіття всіх форм життя на Землі. Наприклад, фотосинтез, окислення і розпад, спалювання органіки та ін. І тільки людина, завдяки своєму розуму, створив понад 300 тисяч штучних технологічних процесів, використовуючи в якості джерела енергетичних ресурсів і неприйнятні для природи способи перетворення. Для цього спочатку було активізовано багато природних процесів, а потім були створені ті, які в принципі не існують в природі і, зокрема, ті, які однозначно призводять до виснаження природних ресурсів. Зокрема, відкриття

ковалентних зв'язків між молекулами вуглеводнів породило безпрецедентне, за своїми масштабами, виробництво найрізноманітніших пластичних мас з нафтопродуктів, яких на Землі дуже мало. Повністю забуті такі паралельні технології отримання пластичних мас, як ті, що засновані на полімолочній кислоті, отриманій з крохмалю за допомогою цвілевого гриба і яка є основою для виробництва біопластику, який, в свою чергу, успішно розкладається під впливом мікроорганізмів. Вуглеводні, які важко переробляються, можуть бути замінені амінокислотами, цукрами, лігнінами, целюлозою. Але не замінюються.

При цьому величезна кількість природних ресурсів задіяно в сфері людської діяльності у вигляді сировини для різних технологій. Велика частина яких потім потрапляє в категорію ВІДХОДІВ, що становиться непотрібною для людини. Непотрібною і складною в утилізуванні в природних умовах. Ці якості людини, мабуть, притаманні йому спочатку, завдяки вмінню мислити, творити, розмовляти і т.д. Тобто здібності бути унікальним предметом для земної екосистеми, на відміну від інших особин, які її населяють.

Справді...

Будь-яка істота на планеті пристосовується до законів, за якими існує Природне середовище. Тільки людина, «вінець Природи», постійно підлаштовує це середовище під себе. Він єдина істота, яка не вписується в природні закони, які об'єктивно існують на Землі. Він єдина істота на Землі, яка «із своїм статутом забралосся в чужий монастир» і намагається змусити все населення цього «монастиря» жити за його правилами. Результати такого пристосування не змушують нас очікувати — це не тільки величезні площі осушених або навпаки, заболочених земель, це території що неприродним шляхом відокремилися від лісів, степів, перетворені в пустелі, території, зайняті розкривними породами, вилучені з сільськогосподарського обігу, відвали, сховища промислових і побутових відходів і багато іншого. Це і виснаження ґрунтів, і вирубка лісів, і втрата людиною численних популяцій живих істот, а також поява біологічних мутантів, зміна клімату і рівня моря, радіаційне забруднення територій і штучно викликані стихійні лиха. А ще є «перспективи» геологічних, психотропних і біологічних видів зброї, винайдених людьми, тектонічні і кліматичні війни та ін. «Потенціал» дуже високий.

В цьому сенсі Природа поки ще не відкинула людство, але вже не згодна з ним. Протиріччя між законами природного середовища і законами людського суспільства — економічними, соціальними, інформаційними — очевидні.

Треба не соромитися визнати, що сама людина в силу умов економічного розвитку, соціальних потреб і інтелектуальних можливостей спочатку не була здатною виміряти свої активні дії можливостями природи. А потім стало пізно.

Простіше кажучи

Природне середовище як джерело ресурсів і як «приймач» техногенних відходів довгий час була невід'ємною частиною процесу створення результатів

людської праці. Поки інтенсивність виробництва матеріальних благ була низькою, підтверджувалося рівність природних механізмів цієї участі. З надшвидким розвитком систем суспільного виробництва природа все більше випадає з виробничого простору людини, відчуваючи її згубний тотальний вплив. Простіше кажучи, природа не встигає переробляти все, що в неї скидає людина.

Згідно з опублікованими даними, в Україні близько 2000 підприємств виробляють понад 105 млн т токсичних відходів на рік, причому 90% з них — гірничодобувне, металургійне та енергетичне виробництво. Переробка такої кількості токсичних відходів є нездійсненним завданням для сучасної української економіки, оскільки потребує великих інвестицій. Наприклад, відповідно до перспективної програми «Суперфонд», в США станом на 01.01.2003 р., в екологічні програми інвестовано понад \$11 млрд при цьому з існуючих 1187 місць було очищено лише 63 місця скидання. На 2020 рік ці пропорції зберігаються і навіть множаться. У Німеччині протягом передбачуваного періоду часу не розраховують на повну переробку існуючих небезпечних твердих відходів [2]. І це найбільш економічно розвинені країни.

Переробка і використання природних ресурсів планети для потреб людства є, в цілому, корисним актом. Правда в тому, що ще корисно тільки для людини, але ніяк не для інших «жителів» планети. І тільки в тому випадку, якщо всі стовідсоткові матеріальні ресурси, задіяні в такій переробці, придбали корисні для людини або інших екосистем якості. Однак природа своїми законами розпорядилася таким чином, що діяльність людини по перетворенню ресурсів стає все більш марнотратною та нераціональною. Природа вимагає плати за такі перетворення у вигляді величезної кількості необроблених відходи, тобто тієї частини незатребуваного виробництва, яка не використовується в людському суспільстві і, по суті, стає непотрібною для природного ареалу, куди ці відходи повертаються.

Сьогодні можна стверджувати, що *проблема марнотратства природних ресурсів, перетворення їх на відходи, в глобальному практичному сенсі вийшла з підпорядкування людини і існує само по собі з розумінням того, що світ ніколи не буде таким, як до науково-технічної революції*. Суспільство приречене жити по сусідству з накопиченими за останні 150–200 років відходами самого різного складу і небезпеки без істотних перспектив кардинально виправити ситуацію до початкового стану.

Важливим моментом для наших подальших досліджень є властивості ресурсів, які систематично задіяні в сфері людських інтересів. З усього різноманіття властивостей ресурсів виділимо ті очевидні, які, на наш погляд, найбільш повно відображають їх керованість з урахуванням інфраструктури, створеної людиною. До них відносяться:

- компонентність ресурсу, як властивість, що забезпечує структурування будь-якого ресурсу для його перетворення;

- властивість перетворення ресурсів і їх ентропійний потенціал. Тісно пов'язані з цією властивістю поняття розсіювання ресурсів пов'язане між собою;
- територіальний розподіл ресурсу. Це ступінь концентрації ресурсу, витрати для його транспортування;
- кількісна оцінка споживчої вартості ресурсу. Це властивості, що відображені в механізмах ціноутворення товарного ресурсу;
- ресурсообіг в економічних і природних системах. В основному це стосується до частини ресурсів, які виходять з експлуатації та утилізуються. Кругообіг ресурсу в економічній системі пов'язаний з утворенням зворотних і неперероблюваних відходів і визначає власний механізм впливу на стан природного середовища;
- частота ресурсу елементів в замкнутому контурі. Тому що темпи природних і штучних перетворень явно непорівняні. Ця властивість є одним з головних протиріч в сучасних поглядах на теорію ресурсозбереження.

У зв'язку з цим доречний інтерес, який може виникнути у зв'язку з вирішенням питань управління потоками відходів. Це інтерес до предмету управління — до відходів, їх сутності, явищу, природи їх появи та існування. Працює відома формула: не можна щось контролювати, не знаючи природи цього чогось.

До сих пір існує незаповнена ніша знань в наукових дослідженнях в області утворення відходів. Йдеться про знання природи, причин і механізмів виникнення відходів у виробничих системах.

Існують відомі наукові напрямки, що займаються вивченням природи і способів перетворення речовин, хімічних елементів, з'єднань з метою отримання деяких корисних продуктів. Цим, зокрема, займаються фахівці в галузі фізики, хімії, інженери-технологи, механіки та ін. Метою таких досліджень, як правило, є якість, ефективність, економічність виробництва основної продукції, механізми формування продукції. Відходи тут можуть бути предметом дослідження тільки в тій мірі, в якій вони впливають на якісні та кількісні показники виробництва основної продукції. Не більше.

Зі зміщенням інтересів вчених в область екології, охорони навколишнього середовища, як правило, об'єктом дослідження стає конкретний відхід виробництва, його кількісні та якісні характеристики. При цьому *відходи найчастіше розглядаються як dokonаний факт*, з яким необхідно боротися, зменшувати кількісно, якісно змінювати, ізолювати, утилізувати, по можливості знешкоджувати. Іншими словами, завдання поводження з відходами ставляться і вирішуються в бік зменшення вже заподіяної шкоди. Іншими словами, людина найчастіше бореться з відходами після їх утворення, маючи їх в якості dokonаного факту. Така інженерна та наукова діяльність, як правило, здійснюється без достовірних знань про сутність і механізми власне процесу утворення відходів. Вітчизняна і зарубіжна наукова література дає дуже мало

достовірної інформації про закономірності виникнення і механізми розвитку відходів у виробничих системах.

Є розуміння, що безвідходних технологій не існує [2, 3]. Однак науково обґрунтованих доказів цього факту в літературі немає. Негативна відповідь на питання про безвідходне виробництво напрошується сам собою, але вона емпірична. Складно знайти відповідь на питання про те, чи існує певний, хоча б теоретичний, мінімум утворення відходів в природі, в штучних технологіях, якими законами він визначається, чи є механізми прояву цього мінімуму в технологічних процесах. Таке судження засновано на тому, що, мабуть, для будь-якої перимусової зміни стану речовини або отримання енергії більш високої якості потрібні додаткові енергетичні та матеріальні витрати [4, 5], в тому числі пов'язані з розсіюванням (дисипацією) матеріальних потоків, енергії, інформації. Подібно до того, як не існують механізми редисипації цих потоків, рівно як не існують процеси з оборотністю ентропії, так, судячи з усього, немає механізмів енергетичної переробки матеріалів без втрат, тобто без відходів — енергії, матеріалу.

Слід також бути впевненими, що та частина екології, яка вважається прикладною, принаймні інженерна екологія, техногенна безпека, є похідною від економіки і не може розглядатися у відриві від останньої. В іншому випадку, якщо результати досліджень в різних областях екологічної безпеки отримані без урахування законів економічного розвитку, вони або непереконливі і недостатньо достовірні, або є незатребуваними.

Дана робота присвячена поглибленим темам вивчення сутності та механізмів явища утворення відходів у виробничих та ін. системах, осмислення під цими проблемами не тільки завдань світоглядного та наукового плану, але перш за все як сучасної соціально-економічної проблеми, актуальної для людства. При цьому ще раз обговоримо, що предмет дослідження — явище утворення відходів цікавить автора не в абстрактному, а в прикладному сенсі. Перш за все, як застосування до методів ефективного управління процесами утворення відходів, мінімізації відходів, і лише в другу чергу, їх переробки, розподілу, зберігання, вторинного використання як рівноправних ресурсів в рамках різноманітних виробничих і споживчих систем.

Монографія містить передмову до публікації, вступ, 14 глав, кожна складається з тематичних розділів, які, на думку автора, найбільш повно розкривають зміст вищесказаного, а також заключної частини, в якій узагальнюються результати дослідження, представленого в монографії.

У першій главі згадуються фундаментальні поняття про відходи, їх тлумачення в різних літературних джерелах, в прикладному сенсі до відомих їх властивостей. Показано місце і роль відходів у сучасному суспільстві, їх вплив на глобальний стан екосистеми Землі. Вперше було звернуто увагу на можливість існування терміну «теоретичний мінімум відходів». Окреслено авторську ідею універсального співвідношення «виробництво-відходи» та деяких інших

властивостей відходів, які роблять їх значущими для суспільства, для сучасних технологій і технологічних укладів.

Другу главу присвячено систематизації та вивченню відомих властивостей, які відображають поняття відходів в технологічних процесах, а також факторів, що надають основний вплив на формування самих відходів, а також на можливості їх мінімізації. Показано, що основними причинами виникнення відходів є структура сировини в динаміці її зміни, і стан енергетичного впливу на неї. Показано роль другого закону термодинаміки на формування структури відходів, зокрема, вплив зміни ентропії на появу відходів у будь-якому технологічному процесі. На ряді прикладів показано, що найбільш ефективні ресурси для мінімізації відходів приховані в особливостях енергоентропії будь-якого технологічного процесу.

З огляду на, що людина є невід'ємною складовою для будь-якої системи, пов'язаної з виробництвом товарів та відходів, в третьому розділі викладені основи впливу факторів її життєдіяльності, як біологічної системи, на творчі процеси на планеті. З урахуванням енергетичного і біохімічного зв'язку цієї діяльності з системою «виробництво-відходи» показана роль людини, як у створенні товарної продукції, так і в появі відходів, не тільки через участь у виробничому процесі, а й через поняття додаткової вартості, як невід'ємної складової даного виробництва. При цьому стає очевидною роль активної діяльності людини в процесах накопичення енергії Сонця, а людське суспільство можна розглядати як особливий спосіб збереження і примноження енергії на планеті. Тут відходи можуть виступати «фактором розплати», як акумулятор ентропії, як розсіювач енергії на планеті.

У четвертій главі робиться спроба розглянути управління відходами з позицій переважної інформативності процесів отримання товарної продукції і відходів, в яких бере участь людина. При цьому діяльність людини не завжди відповідає тим цілям, які він ставить перед собою. В існуючому «параді інтересів» для будь-якого виробництва, інформаційні переваги людини, що стосуються отримання і переробки відходів, поступово зміщуються в бік оцінки відходів як повноцінного продукту, який повинен мати власну споживчу вартість. При цьому істотно змінюються пріоритети виробничої діяльності, можливі реакції на зворотну інформацію, яка стає переважною. та вплив на еволюцію виробничих систем у напрямку вимог до управління відходами.

У п'ятій главі на основі великого обсягу статистичного матеріалу були проведені теоретичні дослідження, які дозволили визначити місце енергії в процесах отримання як готової продукції, так і одночасних відходів в умовах будь-якого технологічного процесу. Визначено правила, за якими відбувається фактичний перерозподіл ентропії і негентропії в процесі виробництва корисних продуктів і роль відходів в такій важливій закономірності. У більш вільній інтерпретації моделі Тьюринга показані рівні умови синхронного існування

виробництва і відходів в будь-якому технологічному процесі з позицій його стійкості і рівноваги.

У шостій главі, яку можна вважати ключовою в монографії, вперше сформульовано таку властивість виробничих систем, як їх *термодинамічна двоєдність*, що пов'язана з синхронними процесами отримання готової продукції і відходів, а також її залежність від стану ентропії що змінюється в умовах термодинамічної нерівноважності системи. Показано роль термодинамічної нерівноважності в процесах розподілу енергії при синхронному виробництві готової продукції та відходів. Розглянуто умови, при яких може існувати стан теоретичного мінімуму відходів, відповідно до конкретного технологічного процесу. Розроблені правила, згідно з якими на основі стану нерівноважності окремих частин системи, і в першому наближенні, можна визначити теоретичний мінімум утворення відходів для цілком конкретного технологічного процесу. Методологія проілюстрована рядом практичних прикладів. Сформульовано *принцип мінімізації відходів у джерелі їх походження*, тобто в технологічному процесі. Принцип ілюструється рядом практичних рішень, як альтернатива існуючим методам поводження з відходами, способам їх утилізації та переробки.

Сьома і восьма глави присвячені другій з основних властивостей відходоутворюючих систем, а саме стану сировинної бази технологічного процесу. Що стосується різних технологічних процесів, то показано вплив структури сировини, його компонентності, співвідношення до використовуваної енергії, способів підготовки і переробки сировини на появу відходів в узагальненні до великого спектру технологічних процесів. Показані методи управління структурними модифікаціями сировини, які можуть виступати в якості одного з активних способів мінімізації відходів в технологічних процесах.

Дев'яту главу монографії присвячено досвіду впровадження методів мінімізації утворення відходів у джерелі їх виникнення — технологічному процесі. На прикладах з будівельних галузей, стародавніх і сучасних технологій, в тому числі біо і нанотехнологій, власне, переробки існуючих відходів, показані можливості досягнення мінімальних показників утворення відходів шляхом управління сировинною базою і енергетичними ресурсами технологічного процесу.

У десятій главі систематизовані матеріали за ще одним способом мінімізації відходів в джерелі їх виникнення — технологічному процесі, а саме — за допомогою економічних методів. Зокрема, мова йде про надання відходам властивостей корисних або товарних продуктів. Єдність витратної бази при розрахунках калькуляції собівартості продукції і відходів показано як основу для надання відходам властивостей товарної продукції, а існуюча між продукцією та відходами енергоентропійна залежність підкреслюється як доказ принципу термодинамічної двоєдності і можливості системного перетворення джерел енергії, що використовуються в технологічних процесах.

Одинадцята глава присвячена дуже оригінальним дослідженням, що показують залежність процесів утворення відходів від об'єктивних закономірностей розвитку технічних систем. Такий підхід дає можливість зафіксувати деякі актуальні властивості відходів, які дозволяють знайти нові способи їх мінімізації в джерелі виникнення. Закономірності розвитку технічних систем дозволяють займатися як модифікацією сировинної бази, її структури, так і можливими модифікаціями джерел енергії, її типів, які використовуються в технологічних процесах, цілеспрямовано для цих цілей. Все це дає інженеру додаткові можливості для вирішення основного завдання — мінімізації відходів в джерелі їх виникнення.

Одним з найбільш ефективних способів управління матеріальними потоками утворення відходів в технологічних процесах є «екологічні цикли», роль яких в екосистемах планети надзвичайно висока. Дванадцятую главу присвячено саме цим дослідженням. Аналогічні питання розглядаються в контексті законів Б. Коммонера, які є системним підтвердженням ролі безперервності потоків утворення відходів в сучасній екосистемі Землі, і в контексті енергоентропійних залежностей, характерних для утворення відходів.

У тринадцятій главі систематизуються всі описані в монографії властивості процесів утворення відходів і відходів, на основі яких пропонується методика оцінки появи тих чи інших відходів в самих різних технологічних процесах, пов'язаних з найбільш поширеними — механічними, термічними і фізико-хімічними засобами переробки сировини. Матеріал ілюструється рядом практичних прикладів.

І, нарешті, чотирнадцятую главу присвячено ще одному досить зручному і наочному способу управління потоками утворення відходів в технологічних процесах — графобудування. Він орієнтован на використання системи формалізованих перетворень моделей орграфів, які зручно описують матеріальні потоки в будь-якому технологічному процесі з виявленням механізмів, що забезпечують появу відходів. Метод також ілюструється рядом прикладів практичної реалізації.

В цілому такий виклад матеріалу дозволив, на думку автора, досягти поставленої мети, а саме, показати не тільки сутність та природу відходів як фундаментального явища, а й визначити принципово нові напрямки їх мінімізації в умовах життєдіяльності людини.

З огляду на масштабність поставленої проблеми, навіть друге видання книги не претендує на вичерпність досліджень, оскільки, за її межами, виникає безліч питань фізіологічних особливостей людської праці як одного з факторів завдяки якому здійснюється виробництво відходів, психології ставлення до відходів. Тож і наукова частина цього явища залишається дуже мало вивченою. Та частина роботи, яку присвячено цим питанням, далеко не вичерпана і вимагає подальших глибоких досліджень. осмислення і вивчення.

До таких досліджень має сенс долучитися.

INTRODUCTION

Waste and its nature, the causes and sources of its appearance, the inevitability of this phenomenon, the conditions under which it is preserved, its properties. All this, as a rule, is outside the field of interest of modern applied sciences. Nevertheless, this fascinating field of knowledge is not only cognitive, but can bring society completely new ways of coexistence with nature, new principles of economic organization, changes in attitudes to the rules of existence of the consumer society, new rules of human life on this planet.

Human society has always lacked the common sense to listen to certain scientific results that do not coincide with conventional wisdom, not only in a utilitarian context, but also, in some way, in a worldview sense, especially as it relates to life-sustaining subjects, to the very principle of that society's existence as an effective given. Such was the case in nuclear physics with atomic fission, in microbiology with automutations and artificial viruses, such was the case with the field of medicine relating to the cloning of living organisms. Similar stereotypes and denials appeared in archaeology and historical chronology by D. Petavius, and I. Scaliger, N.A. Morozov, and A. P. Fomenko, limited the development of the most diverse fields of medicine, sociopolitics, engineering in its applied aspects, etc.

After the first edition of the monograph «The Nature of Waste Generation, ... » was published, there was a great interest in scientific circles in the questions of the essence of waste, processes of waste generation, the place that this problem occupies in modern natural science. But at the same time, practical engineers, applied researchers, whose work is directly related to new or existing production of commodity products in the most diverse variety, and, at the same time, to the production of an even greater range of waste, took a very cool attitude towards this work. This is despite the fact that the negative role of industrial waste in the world is not disputed by anyone and continues to increase not even in arithmetic progression. In the sixteen years since the first edition of the monograph was published, the number of new waste product names has increased from 153,000 to 215,000, with only a 25% increase in the nomenclature of commercial products. And for every ton of household waste in the world there are already 71 tons of industrial waste [1]. There is simply no other argument for the dramatic increase in attention to minimizing industrial waste.

To understand the nature of waste generation, it seems necessary to understand the nature of human beings themselves. But this problem, to which the ancient Assyrians and Greeks, scholastic scientists and modern philosophers (but not engineers) devoted their work, has no precise solution. Apparently, this is because human cognition is an unrealizable prospect.

From the point of view of the topic of this paper, human being is a part of the Earth's ecosystem. Its main difference from the rest of the living world is the presence of mind, logical thinking, super-developed (and rapidly developing)

system of information exchange within the human community, ability to adapt the natural environment to its needs, to use natural energy sources for its purposes. None of these qualities are possessed by our other neighbors in the Earth ecosystem.

Man has invented technical, biological, social, and other systems that have never before existed in nature. These include artificial agriculture, forced animal husbandry, mining and energy systems, global transportation systems (roads, railroads, airports and navigable sea and river arteries and canals), cities, metropolitan areas and factories, last but not least.

And the human “invented” waste as an accompanying business card of his activity.

In nature, there are no more than 5–6 real technological processes underlying the development of the diversity of all life forms on Earth. For example, photosynthesis, oxidation and decomposition, combustion of organics, etc. And only human beings, thanks to their intelligence, have created more than 300 thousand artificial technological processes, using as a source of energy resources and methods of transformation that are unacceptable for natural nature. For this purpose many natural processes were first intensified, and then such processes were created which in principle do not exist in nature, and especially such processes which unambiguously lead to the depletion of natural resources. In particular, the discovery of covalent bonds between hydrocarbon molecules gave a start to the unprecedented, by its scale, production of the most various plastic masses from oil products which were very scarce on the Earth. We have completely forgotten such parallel technologies for obtaining plastic masses as those based on polylactic acid derived from starch with the help of mold fungus, which is the basis for producing bioplastic, which, in its turn, successfully decomposes under the influence of microorganisms. Heavy hydrocarbons can be replaced by amino acids, sugars, lignins, cellulose. But they are not.

At the same time a huge amount of natural resources in the form of raw materials for various technologies are involved in the sphere of human activity, most of which then falls into the category of WASTE, unnecessary to human beings. Unnecessary and difficult to dispose of in natural conditions. These qualities of human beings seem to be inherent to them from the beginning, due to their ability to think, create, talk, etc. That is, to be a unique entity for the earth’s ecosystem, unlike other individuals who inhabit it.

Indeed, ...

Every creature on the planet adapts to the laws under which the Natural Environment exists. Only human beings, the “crown of Nature,” constantly adjust this environment to themselves. They are the only creatures that do not fit into the natural laws that objectively exist on the Earth. They are the only creatures on the Earth, which “has entered another’s monastery” and try to force the entire population of this “monastery” to live according to their rules. The results of this adaptation are not to be expected: these are not only huge areas of drained or, on the contrary, watered

lands, areas torn away from forests, steppes turned into deserts, areas occupied by overburdened rocks, withdrawn from the agricultural turnover, dumps, storage of industrial and domestic waste and much more. This includes soil depletion, deforestation, loss of numerous populations of living beings due to human fault, the appearance of biological mutants, climate change and ocean level change, radiation pollution of territories and artificially induced natural disasters. And still ahead are the “prospects” of geological, psychotropic and biological weapons invented by humans, tectonic and climatic wars, etc. The “potential” is very great.

In this respect, Nature does not yet reject humanity, but it does not agree with it either. The contradiction between the laws of the natural environment and the laws of human society — economic, social, informational.

We should not be ashamed to admit that human beings themselves, due to the conditions of economic development, social needs, and intellectual capabilities, were originally not able to commensurate their active actions with the possibilities of nature. Thereby falling out of natural ecological cycles, disrupting them, without the ability to subsequently achieve equilibrium.

The natural environment as a source of resources and as a “receiver” of technogenic waste has long been an inseparable part of the process of creating the results of human labor. As long as the intensity of production of material goods was low, the equality of natural mechanisms of this participation was confirmed. With the superfast development of the systems of social production, nature has increasingly fallen out of the human production space, feeling the destructive total impact of it. Simply put, nature does not have time to process all that is dumped into it by human beings.

According to the published data, about 2000 enterprises in Ukraine annually produce more than 105 million tons of toxic waste, and 90% of them account for mining and smelting and energy production. Processing of such amount of toxic waste is an impossible task for the modern Ukrainian economy, as it requires large investments. For example, according to the prospective program «Superfund», as of January 1, 2003 in the U. S. invested in environmental programs more than \$11 billion, with only 63 sites out of 1187 available sites cleaned up. As of 2012, these proportions remain and even increase. In Germany for the foreseeable period of time they do not count on the complete recycling of already existing hazardous solid waste [2]. And these are the most economically developed countries.

Recycling and using the planet’s natural resources for humanity’s needs is, in general, a useful act. True, only for humans, but not for the other «inhabitants» of the planet. And only if all one hundred percent of the material resources involved in such processing would acquire qualities useful to humans or other ecosystems. But nature and its laws have arranged things in such a way that human activities aimed at transforming resources are increasingly wasteful. Nature demands payment for such transformations in the form of huge amounts of unprocessed waste, i. e. that part of

unclaimed production which finds no use in human society and essentially becomes unnecessary for the part of nature where this waste is returned.

Today it can be claimed that the *problem of waste in the global practical sense has moved out of human subordination and exists by itself with the understanding that the world will never again be the same as it was before the scientific and technological revolution*. Society is doomed to live in the vicinity of wastes of all kinds of composition and hazard accumulated over the past 150–200 years without any significant prospects for a radical correction of the situation to its original state.

An important point for our further research is the properties of resources systematically involved in the sphere of human interests. Of the variety of resource properties, let us highlight those obvious ones which, in our opinion, most fully reflect their manageability, taking into account the human-created infrastructure. These include:

- resource componentism as a property that provides structuring of any resource in relation to its transformation;
- resource transformation property and entropic resource. Closely related to this property is the notion of resource dissipation;
- territorial distribution of the resource. This is the degree of concentration of the resource, the cost of transporting it;
- quantification of the use value of the resource. These are the properties reflected in the mechanisms of pricing of the productive resource;
- resource cycle in the economic and natural systems. This refers mainly to the utilized part of the resources that come out of exploitation mode. The resource cycle in the economic system is associated with the formation of returnable and non-returnable waste and determines its own mechanism of influence on the state of the natural environment;
- the frequency of passage of elements of the resource through a closed cycle. Since the rates of natural and artificial transformations are clearly incomparable, this property constitutes one of the main contradictions in modern views on the theory of resource conservation.

In this connection, the interest which can arise in connection with the solution of the issues of manageability of waste streams is appropriate. This interest to a subject of management — wastes, their essence, the phenomenon, nature of appearance and existence. The well-known formula works: it is impossible to manage something, not knowing the nature of this something.

There is still an unfilled niche of knowledge in scientific research in the field of waste generation. We are talking about knowledge about the nature, causes and mechanisms of waste in production systems.

There are well-known scientific directions, engaged in research of nature and methods of transformation of substances, chemical elements, compounds in order to obtain some useful products. In particular, specialists in physics, chemistry, process engineers, mechanics, etc. are engaged in this. The purpose of such research, as a

rule, is the quality, efficiency, economy of production of the *main product*, the mechanisms of product formation. Waste here can be a subject of research only insofar as it affects the qualitative and quantitative indicators of production of the main product. No more of that.

With a shift of interests of scientists in the field of ecology, environmental protection, as a rule, the object of research becomes a specific waste of production, its quantitative and qualitative characteristics. At the same time, *the waste is more often treated as an accomplished fact*, which must be dealt with, reduced quantitatively, changed qualitatively, isolated, utilized and, if possible, neutralized. In other words, we set and solve the problems of waste management in the direction of reducing the harm caused. In other words, a human is often struggling with wastes after they are formed, having them as a *fait accompli*. Such engineering and scientific activity, as a rule, is carried out without availability of reliable knowledge about nature and mechanisms of the process of waste formation (process of waste formation). Domestic and foreign scientific literature presents very little reliable information about the patterns of occurrence and mechanisms of waste development in production systems.

There is an understanding that there are no wasteless technologies [2, 3]. However, scientifically substantiated proofs of this fact are not found in the literature. The negative answer to the question about waste-free production is obvious, but it is empirical. It is difficult to find an answer to the questions whether there is some, at least theoretical, minimum of waste formation in nature, in artificial technologies, what laws it is determined by, whether there are mechanisms of manifestation of this minimum in technological processes. It is based on the fact that any forced change in the state of matter or obtaining energy of higher quality, apparently, requires additional energy and material costs [4, 5], including those associated with the dissipation (dissipation) of material flows, energy, information. As there are no mechanisms of redissipation of these flows, as there are no processes with direct reversibility of entropy, so, apparently, there are no mechanisms of energy processing of materials without losses, i. e. without waste — energy, material.

We should be sure that the part of ecology that is considered applied, at least engineering ecology, technogenic safety, is derived from economics and cannot be considered in isolation from the latter. Otherwise, if the results of research in various areas of environmental safety are obtained without taking into account the regularities of economic development, they are either unconvincing and insufficiently reliable, or they are unclaimed.

The present work is devoted to in-depth themes of research of nature and mechanisms of the phenomenon of waste generation in production systems, understanding under these problems not only problems of outlook and scientific plan, but first of all the modern social and economic problem, urgent for mankind. Here we should mention once again that the subject of study — the phenomenon of waste generation interests the author not in the abstract, but in the applied sense. First of all, as an ap-

plication to the methods of effective management of waste generation processes, waste minimization, and only secondly, their processing, distribution, storage, recycling as equal resources within the diversity of production and consumer systems.

The monograph contains a preface to the publication, an introduction, 14 chapters, each of them includes several thematic sections, which, in the opinion of the author, most fully reveal the meaning of the stated, as well as the final part, which summarizes the results of research presented in the monograph.

The first chapter mentions the fundamental concepts for waste, their interpretation in various literary sources, as applied to the known properties of waste. The place and role of waste in modern society, its impact on the global state of the Earth's ecosystem is shown. For the first time attention is paid to the possibility of existence of the term «theoretical minimum of waste». The author's idea of the universal ratio «product-waste» and some other properties of waste, making it significant for the society, for modern technologies and technological ways of life, is stated.

The second chapter is devoted to the systematization and study of the known properties, displaying the concept of waste in technological processes and the factors having the main influence on the formation of waste itself, as well as on the possibilities of its minimization. It is shown that the main causes of waste is the structure of raw materials in the dynamics of its change, and the state of energy impact on it. The role of the second law of thermodynamics on formation of waste structure is shown, in particular, the influence of entropy change on the appearance of waste in any technological process. On a number of examples it is proved that the most effective resources for waste minimization are hidden in the peculiarities of energy-entropy of any technological process.

Given that human beings are an integral component for any system associated with waste production, the third chapter outlines the basics of the influence of the factors of their life activity, as a biological system on the creative processes on the planet. Considering the energetic and biochemical connection of this activity with the «product-waste» system, the role of human beings both in creating marketable products and in generating waste is shown, not only through participation in the production process, but also through the concept of surplus value as an integral component of this production. At the same time, the role of active human activity in the processes of accumulating the energy of the Sun becomes obvious, and human society can be seen as a special way to preserve and multiply energy on the planet. Here waste can act as a «payback factor», as an entropy accumulator, as an energy dissipator on the planet.

In the fourth chapter an attempt is made to consider waste management from the point of view of the preferential informativeness of the processes of obtaining marketable products and waste, in which humans take part. At the same time, human activity far from always corresponds to the goals, which he sets for himself. In the existing «parade of interests» for any production, man's informational preferences, related to waste production and processing, are gradually shifting towards the assess-

ment of waste as a full-fledged commodity, which is obliged to have its use value. This significantly changes the priorities of production activities, the possible reactions to feedback information, which becomes preferable and influences the evolution of production systems towards waste management requirements.

In the fifth chapter, on the basis of a large volume of statistical material, theoretical studies were carried out, which allowed to determine the place of energy in the processes of obtaining both finished products and simultaneous waste in the conditions of any technological process. The rules by which the actual redistribution of entropy and nonentropy in the process of producing useful products and the role of waste in such an important pattern have been determined. A freer interpretation of the Turing problem shows equal conditions for the synchronous existence of products and waste in any technological process from the positions of its stability and equilibrium.

In the sixth chapter, which can be considered as the key one in the monograph, for the first time such property of production systems as their thermodynamic bivalence associated with synchronous processes of obtaining finished products and waste, as well as its dependence on the state of changing entropy in conditions of thermodynamic disequilibrium of the system is formulated. The role of thermodynamic nonequilibrium in the processes of energy distribution in obtaining the finished products and waste is shown. The conditions under which the state of theoretical minimum of waste corresponding to a particular technological process can exist are considered. The rules are developed according to which, on the basis of the state of nonequilibrium of those or other parts of the system, and in first approximation, it is possible to determine the theoretical minimum of waste generation for a quite specific technological process. The technique is illustrated by a number of practical examples. *The principle of waste minimization at the source of origin*, i. e. in the technological process, is formulated. The principle is illustrated by a number of practical solutions, as an alternative to the existing post factum, with respect to waste, methods of its disposal and recycling.

The seventh and eighth chapters are devoted to the second one of the main properties of waste-forming systems, namely, the state of the raw material base of the technological process. With respect to various technological processes, the influence of the structure of raw materials, their components, their relation to the energy used, methods of preparation and processing of raw materials on the appearance of waste in generalization to a wide range of technological processes is shown. The ways of management of structural modifications of raw materials, which can be one of the active ways of waste minimization in technological processes, are shown.

The ninth chapter of the monograph is devoted to the experience of realization of methods of minimization of waste formation in the source of waste occurrence — technological process. Using examples from construction industries, ancient and modern technologies, including bio- and nanotechnologies, the actual recycling of existing waste, the possibilities of achieving minimum indicators of waste generation by managing the raw material base and energy resources of the technological process are shown.

The tenth chapter systematizes materials on another way to minimize waste at the source of its origin — the technological process, namely, through economic methods. Specifically, we are talking about giving the waste properties of useful or marketable products. It shows the unity of the cost base in the cost calculations in relation to products and waste, as the basis for giving the waste properties of marketable products, and also emphasizes the energy-entropic relationship that exists between the product and waste, as proof of the principle of thermodynamic duality and the possibility of systemic transformation of energy sources that are used in technological processes.

The eleventh chapter is devoted to a very original research, showing the dependence of waste generation processes on the objective regularities of technical systems development. This approach allows to fix some actual properties of wastes, giving possibilities for finding new ways of their minimization at the source of occurrence. The regularities of technical systems development allow us to deal both with the modification of the raw material base, its structure, and possible modifications of the sources and types of energy used in technological processes, purposefully for the specified purposes. All this gives the engineer additional opportunities to solve the main task — waste minimization at the source of their origin.

One of the most effective ways to manage the material flows of waste in technological processes is “ecological cycles”, whose role in the ecosystems of the planet is extremely high. The twelfth chapter is devoted to these studies. Such issues are considered both in the context of B. Commoner’s laws, which are a systemic confirmation of the role of continuity of waste streams in the modern Earth ecosystem, and in the context of the energy-entropic dependencies characteristic of waste generation.

The thirteenth chapter systematizes all the properties of wastes and waste generation processes described in the monograph, on the basis of which the methodology of assessing the occurrence of certain wastes in a variety of technological processes associated with the most common — mechanical, thermal and physical-chemical processing of raw materials is proposed. The material is illustrated by a number of practical examples.

Finally, the fourteenth chapter is devoted to another fairly convenient and illustrative way of managing waste flows in technological processes — the graph-building method. It is focused on the application of the system of formalized transformations of graph models, conveniently describing material flows in any technological process with the identification of mechanisms providing the appearance of waste. The method is also illustrated by a number of practical examples of implementation.

In general, this presentation of the material allowed, in the author’s opinion, to achieve the goal, namely, to show not only the nature of waste as a fundamental phenomenon, but also to identify fundamentally new directions of its minimization in the conditions of human life.

Given the scale of the problem posed, even the second edition of the book does not claim to be exhaustive, because many questions of the physiological features of

human labor as a factor of waste production, the psychology of attitudes toward waste remain beyond its scope. And the scientific part of this phenomenon is still very poorly studied. That part of the work, which is devoted to these questions is far from being exhausted and requires further in-depth research, comprehension and study.

Such research can be joined by.

ВВЕДЕНИЕ

Отходы и их природа, причины и источники их появления, неизбежность этого явления, условия, при которых они сохраняются, их свойства. Всё это, как правило, находится вне области интересов современных прикладных наук. Тем не менее, эта увлекательная область знаний является не только познавательной, но может принести обществу совершенно новые способы сосуществования с природой, новые принципы организации экономики, изменение отношений к правилам существования общества потребления, новые правила жизни человека на этой планете.

Человеческому обществу всегда не доставало здравого смысла прислушаться к определенным научным результатам, которые не совпадают с общепринятыми мнениями не только в утилитарном контексте, но и, в некотором образе мировоззренческого смысла, в особенности, если это относится к жизнеобеспечивающим предметам, к самому принципу существования этого общества как эффективной данности. Так было в ядерной физике с расщеплением атома, в микробиологии с автомутациями и искусственными вирусами, так было с областью медицины, относящейся к клонированию живых организмов. Подобные стереотипы и отрицания появлялись в археологии и исторической хронологии Д. Петавиуса, и И. Скалигера, Н. А. Морозова и А. П. Фоменко, ограничивали развитие самых различных областей медицины, социополитики, инженерии в ее прикладных аспектах и др.

После выхода первого издания монографии «Природа отхообразования, ...» в научных кругах был проявлен интерес к поднятым в ней вопросам сущности отходов, процессов отхообразования, месту, которое занимает данная проблема в современном естествознании. Но при этом практические инженеры, прикладные исследователи, чей труд непосредственно связан с новыми или существующими производствами товарной продукции в самом различном многообразии, и, одновременно с производством еще большего спектра отходов, отнеслись к этой работе весьма прохладно. И это несмотря на то, что негативная роль промышленных отходов в мире никем не оспаривается и продолжает усугубляться даже не в арифметической прогрессии. За шестнадцать лет, прошедших с момента опубликования первого издания монографии число пунктов новых названий отходов увеличилось с 153 тыс. единиц до 215 тыс. единиц, при росте номенклатуры товарной продукции всего на 25%. И на каждую тонну бытовых отходов в мире приходится уже 71 тонна промышленных отходов [1]. Просто не существует других аргументов в пользу резкого увеличения внимания к вопросам минимизации промышленных отходов.

Чтобы понять природу отхообразования, по-видимому, требуется понять природу собственно человека. Но эта проблема, которой посвящали труды древние ассирийцы и греки, ученые-схоласты и современные философы (но не ин-

женеры), не имеет точного решения. По всей видимости, потому, что познание человека — неисполняемая перспектива.

С точки зрения темы настоящей работы — человек, это часть земной экосистемы. Его основное отличие от остального живого мира — наличие разума, логического мышления, сверхразвитая (и бурно развивающаяся) система информационного обмена внутри человеческой общности, способность адаптировать окружающую природную среду под свои потребности, использовать для своих целей природные источники энергии. Ни одним из этих качеств другие наши соседи по экосистеме «Земля» не обладают.

Человек придумал такие технические, биологические, социальные и другие системы, которые до него никогда ранее не существовали в природе. К ним относятся искусственное земледелие, принудительное животноводство, горная добыча и энергетические системы, глобальные транспортные системы (дороги, рельсовые пути, аэропорты и судоходные морские и речные артерии и каналы), города, мегаполисы и заводы, наконец.

И человек «придумал» отходы, как сопроводительную визитную карточку своей деятельности.

В природе существует всего не более 5–6 реальных технологических процессов, находящихся в основе развития многообразия всех форм жизни на Земле. Например, фотосинтез, окисление и гниение, горение органики и др. И только человек, благодаря своему разуму создал более 300 тысяч искусственных технологических процессов, используя в качестве источника энергии неприемлемые для естественной природы ресурсы и способы преобразования. Для этого вначале были интенсифицированы многие естественные процессы, а затем созданы такие, которых в принципе не существует в природе и в особенности те, которые однозначно ведут к истощению природных ресурсов. В частности, открытие ковалентных связей между молекулами углеводов дало старт беспрецедентному, по своим масштабам, производству самых различных пластических масс из весьма дефицитных на Земле нефтепродуктов. Напрочь забыты такие параллельные технологии получения пластических масс, как основанные на полимолочной кислоте, получаемой из крахмала при помощи плесневого гриба и являющегося основой для производства биопластика, в свою очередь, успешно разлагающегося под влиянием микроорганизмов. Тяжело утилизируемые углеводороды могут заменяться аминокислотами, сахарами, лигнинами, целлюлозой. Но не заменяются.

При этом в сферу деятельности человека вовлекается огромное количество природных ресурсов в виде сырья для различных технологий, большая часть из которых затем попадает в разряд ОТХОДОВ, ненужных человеку. Ненужных и трудно утилизируемых в природных условиях. Эти качества человека, по-видимому, свойственны ему изначально, благодаря способностям мыслить, созидать, разговаривать и т. д. То есть, быть уникальным для земной экосистемы субъектом, непохожим на другие особи, которые ее населяют.

Действительно, ...

Любое существо на планете приспосабливается к закономерностям, по которым существует Природная среда. Только человек, «венец Природы», постоянно подстраивает эту среду под себя. Он является единственным существом, которое не вписывается в природные закономерности, объективно существующие на Земле. Он единственное существо на Земле, которое «со своим уставом влезло в чужой монастырь» и пытается заставить все население этого «монастыря» жить по его правилам. Результаты этого приспособления не заставляют ожидать — это не только огромные территории осушенных или наоборот, обводненных земель, территории, отторгнутые от лесов, степей, превращенных в пустыни, территории, занимаемые вскрышными породами, выведенные из земледельческого оборота, отвалы, хранилища промышленных и бытовых отходов и многое другое. Это и истощение почв, и вырубка лесов, и потеря по вине человека многочисленных популяций живых существ, и появление биологических мутантов, изменение климата и изменение уровня океана, радиационное загрязнение территорий и искусственно вызываемые природные катастрофы. А впереди еще «перспективы» геологических, психотропных и биологических видов оружия, придуманных людьми, тектонические и климатические войны и т.д. «Потенциал» весьма велик.

В этом плане Природа пока не отторгает человечество, но уже и не соглашается с ним. Очевидным является противоречие между законами природной среды и законами человеческого общества — экономическими, социальными, информационными.

Нужно не стесняться признавать, что собственно человек, в силу условий развития экономики, социальных потребностей и интеллектуальных возможностей, изначально не был способен соизмерять свои активные действия с возможностями природы. Тем самым выпадая из природных экологических циклов, нарушая их, без возможности в последующем достичь равновесия.

Природная среда в качестве источника ресурсов и в качестве «приемщика» техногенных отходов давно стала неразрывной составляющей процесса создания результатов человеческого труда. До тех пор, пока интенсивность производства материальных благ была невысокой, подтверждалось равноправие природных механизмов этого участия. С сверхбыстрым развитием систем общественного производства природа все более выпадает из производственного пространства человека, ощущая на себе губительное суммарное его воздействие. Попросту говоря, природа не успевает переработать все то, что в нее сбрасывает человек.

Согласно опубликованным данным, в Украине около 2000 предприятий вырабатывает в год более 105 млн т токсичных отходов, причем 90% из них приходится на горно-металлургическое и энергетическое производства. Переработка такого количества токсичных отходов — задача непосильная для современной украинской экономики, так как требует больших вложений средств. Например, в соответствии с перспективной программой «Суперфонд», в США

по состоянию на 01.01.2003 г. вложено в экологические программы более \$11 млрд, при этом очищено только 63 места сброса из имеющихся 1187 мест. На 2012 год эти пропорции сохраняются и даже приумножаются. В Германии в течение обозримого периода времени не рассчитывают на полную переработку уже имеющихся опасных твердых отходов [2]. И это наиболее экономически развитые страны.

Переработка и использование природных ресурсов планеты для нужд человечества являются, в общем, полезным деянием. Правда, только для человека, но не для других «жителей» планеты. И только в том случае, если бы все сто процентов вовлекаемых в такую переработку материальных ресурсов приобретали полезные для человека или других экосистем качества. Однако природа, ее законы распорядились таким образом, что человеческая деятельность по преобразованию ресурсов носит все более расточительный характер. Природа требует платы за такие преобразования в виде огромного количества непереработанных отходов, т. е. той части невостребованного продуцирования, которая не находит применения в человеческом обществе и, по существу, становится не нужной той части природы, куда эти отходы возвращаются.

Сегодня можно утверждать, что *проблема отходов в глобальном практическом смысле вышла из подчинения человека и существует сама по себе с понижением того, что мир уже никогда не будет таким, как до научно-технической революции*. Общество обречено жить в соседстве с накопленными за последние 150–200 лет отходами самого разного состава и опасности без существенных перспектив радикально исправить ситуацию до первоначального состояния.

Важным моментом для дальнейших наших исследований являются свойства ресурсов, систематически вовлекаемых в сферу интересов человека. Из всего многообразия свойств ресурсов выделим те очевидные, которые, на наш взгляд, наиболее полно отражают их управляемость, с учетом инфраструктуры, создаваемой человеком. К ним относятся:

- компонентность ресурса, как свойство, обеспечивающее структуризацию любого ресурса относительно его преобразования;
- свойство ресурсного преобразования и энтропийный ресурс. С этим свойством тесно связано понятие диссипации ресурса;
- территориальное распределение ресурса. Это степень концентрации ресурса, затраты на его транспортирование;
- квантификация потребительской стоимости ресурса. Это свойства, отраженные в механизмах ценообразования продукционного ресурса;
- кругооборот ресурса в хозяйственной и природной системах. В основном это относится к утилизируемой части ресурсов, выходящих из режима эксплуатации. Кругооборот ресурса в хозяйственной системе связан с образованием возвратных и невозвратных отходов и определяет собственный механизм влияния на состояние природной среды;

- частота прохождения элементов ресурса по замкнутому циклу. Поскольку темпы природных и искусственных трансформаций явно несопоставимы, это свойство составляет одно из главных противоречий в современных воззрениях на теорию ресурсосбережения.

В этой связи уместным является интерес, который может возникать в связи с решением вопросов управляемости потоками отхообразования. Это интерес к предмету управления — отходам, их сущности, явлению, природе появления и существования. Срабатывает известная формула: нельзя управлять чем-то, не зная природы этого нечто.

До сих пор в научных исследованиях в области отхообразования существует незаполненная ниша знаний. Речь идет о знаниях в области природы, причин и механизмов появления отходов в производственных системах.

Существуют известные научные направления, занимающиеся исследованием природы и методов преобразования веществ, химических элементов, соединений с целью получения некоторой полезной продукции. Этим, в частности, занимаются специалисты в области физики, химии, инженеры-технологи, механики и др. Целью таких исследований, как правило, являются качество, эффективность, экономичность производства *основной продукции*, механизмы продуктообразования. Отходы здесь могут являться предметом исследований лишь в той степени, в какой они влияют на качественные и количественные показатели производства основной продукции. Не более.

При смещении интересов ученых в область экологии, охраны окружающей среды, как правило, объектом исследований становится конкретный отход производства, его количественные и качественные характеристики. При этом *к отходу чаще всего относятся как к свершившемуся факту*, с которым необходимо бороться, уменьшать количественно, изменять качественно, выделять, утилизировать, по возможности нейтрализовать. Иными словами, ставятся и решаются задачи управления отходами в направлении уменьшения наносимого вреда. Иными словами, человек чаще всего борется с отходами уже после их образования, имея их как свершившуюся данность. Подобная инженерная и научная деятельность, как правило, осуществляется без наличия достоверных знаний о природе и механизмах собственно процесса образования отходов (процесса отхообразования). Отечественная и зарубежная научная литература представляет крайне мало достоверных сведений о закономерностях возникновения и механизмах развития отходов в производственных системах.

Существует понимание того, что безотходных технологий не бывает [2, 3]. Однако, научно обоснованных доказательств этого факта в литературе не встречаются. Отрицательный ответ на вопрос о безотходности производства напрашивается, но он эмпиричен. Трудно отыскать ответ на вопросы о том, существует ли некоторый, хотя бы теоретический, минимум отхообразования

в природе, в искусственных технологиях, какими законами он определяется, имеются ли механизмы проявления этого минимума в технологических процессах. Он основан на том, что, по-видимому, для любого принудительного изменения состояния вещества или получения энергии более высокого качества требуются дополнительные энергетические и материальные затраты [4, 5], в том числе связанные с рассеянием (диссипацией) материальных потоков, энергии, информации. Как не существует механизмов редиссипации этих потоков, как не существует процессов с прямой обратимостью энтропии, так, видимо, не существует и механизмов энергетической обработки материалов без потерь, т.е. без отходов — энергетических, материальных.

Следует быть уверенными, что та часть экологии, которую считают прикладной, по крайней мере, инженерная экология, техногенная безопасность, является производной от экономики и не может рассматриваться в отрыве от последней. В противном случае, если результаты исследований в различных областях экологической безопасности являются полученными без учета закономерностей экономического развития, они либо неубедительны и недостаточно достоверны, либо являются невостребованными.

Настоящая работа посвящена углубленным темам исследования природы и механизмов собственно явления образования отходов в производственных системах, понимая под этими проблемами не только задачи мировоззренческого и научного плана, но прежде всего современную социально-экономическую проблему, актуальную для человечества. При этом еще раз оговоримся, что предмет изучения — явление отхообразования интересует автора не в абстрактном, а в прикладном понимании. В первую очередь, как приложение к методам эффективного управления процессами отхообразования, минимизации отходов, и только во вторую очередь, их переработка, распределение, хранение, вторичное использование в качестве равноправных ресурсов в рамках многообразия производственных и потребительских систем.

Монография содержит предисловие к изданию, введение, 14 глав, каждая из них включает несколько тематических разделов, которые, по мнению автора, наиболее полно раскрывают смысл изложенного, а также, заключительной части, в которой суммируются итоги исследований, представленных в монографии.

В первой главе упомянуты основополагающие понятия для отходов, их интерпретация в различных литературных источниках, в приложении к известным свойствам отходов. Показано место и роль отходов в современном обществе, их влияние на глобальное состояние экосистемы Земли. Впервые обращено внимание на возможность существования термина «теоретический минимум отходов». Изложено представление автора на универсальное соотношение «продукция-отход» и некоторые другие свойства отхода, делающие его значимым для общества, для современных технологий и технологических укладов.

Вторая глава посвящена систематизации и изучению известных свойств, отображающих понятие отхода в технологических процессах и факторов, оказывающих основное влияние на формирование собственно отхода, а также, на возможности к его минимизации. Показано, что основными причинами появления отходов является структура сырья в динамике ее изменения, и состояние энергетического воздействия на него. Показана роль второго закона термодинамики на формирование структуры отходов, в частности, влияние изменения энтропии на появление отходов в любом технологическом процессе. На ряде примеров доказано, что наиболее эффективные ресурсы для минимизации отходов скрыты в особенностях энергоэнтропии любого технологического процесса.

Учитывая, что человек является неотъемлемой составляющей для любой системы, связанной с производством отходов, в третьей главе изложены основы влияния факторов его жизнедеятельности, как биологической системы на созидательные процессы на планете. Учитывая энергетическую и биохимическую связь этой деятельности с системой «продукция-отход», показана роль человека как в создании товарной продукции, так и в появлении отходов, не только посредством участия в производственном процессе, но и через понятие прибавочной стоимости, как неотъемлемой составляющей этого производства. При этом очевидной становится роль активной деятельности человека в процессах аккумуляирования энергии Солнца, а человеческое общество можно рассматривать, как особый способ сохранения и приумножения энергии на планете. Здесь отход может выступать как «фактор расплаты», как накопитель энтропии, как рассеиватель энергии на планете.

В четвертой главе сделана попытка рассмотреть управление отходами с позиций предпочтительной информативности процессов получения товарной продукции и отхода, в которых принимает участие человек. При этом деятельность человека далеко не всегда соответствует тем целям, которые он перед собой ставит. В существующем «параде интересов» для любого производства, информационные предпочтения человека, относящиеся к получению и переработке отходов, постепенно смещаются в сторону оценки отхода, как полноправного товара, который обязан иметь свою потребительскую стоимость. Это существенно меняет приоритеты производственной деятельности, возможные реакции на информацию обратной связи, которая становится предпочтительной и влияет на эволюцию производственных систем в сторону требований по управлению отходами.

В пятой главе, на основании большого объема статистического материала, выполнены теоретические исследования, позволившие определить место энергии в процессах получения как готовой продукции, так и одновременного отхода в условиях любого технологического процесса. Определены правила, по которым происходит фактическое перераспределение энтропии и негэнтропии в процессе производства полезной продукции и роли отхода в такой важной

закономерности. В более свободной интерпретации задачи Тьюринга показаны равноправные условия синхронного существования продукции и отхода в любом технологическом процессе с позиций его устойчивости и равновесия.

В шестой главе, которую можно считать ключевой в монографии, впервые сформулировано такое свойство производственных систем, как их термодинамическое двуединство, связанное с синхронными процессами получения готовой продукции и отхода, а также его зависимость от состояния изменяющейся энтропии в условиях термодинамического неравновесия системы. Показана роль термодинамического неравновесия в процессах распределения энергии при получении готовой продукции и отхода. Рассмотрены условия, при которых может существовать состояние теоретического минимума отходов, соответствующее конкретному технологическому процессу. Разработаны правила, по которым, на основании состояния неравновесности тех или иных частей системы, и в первом приближении, можно определять теоретический минимум отходообразования для вполне конкретного технологического процесса. Методика проиллюстрирована рядом практических примеров. Сформулирован *принцип минимизации отходов в источнике возникновения*, то есть, в технологическом процессе. Принцип проиллюстрирован рядом практических решений, в качестве альтернативы существующим постфактумным, в отношении отходов, методам их утилизации и переработки.

Седьмая и восьмая главы посвящены второму одному из главных свойств отходообразующих систем, а именно, состоянию сырьевой базы технологического процесса. Применительно к различным технологическим процессам показано влияние структуры сырья, его компонентности, отношению к используемой энергии, способов подготовки и переработки сырья на появление отходов в обобщении к большому кругу технологических процессов. Показаны способы управления структурными модификациями сырья, которые могут выступать одним из активных способов минимизации отходов в технологических процессах.

Опыту реализации методов минимизации отходообразования в источнике появления отхода — технологическом процессе, посвящена девятая глава монографии. На примерах из строительных индустрий, древних и современных технологий, включая био- и нанотехнологии, собственно, переработку существующих отходов, показаны возможности достижения минимальных показателей по отходообразованию путем управления сырьевой базой и энергетическими ресурсами технологического процесса.

В десятой главе систематизированы материалы по еще одному способу минимизации отходов в источнике их возникновения — технологическом процессе, а именно, посредством экономических методов. Конкретно идет речь о придании отходу свойств полезной или товарной продукции. Показано единство затратной базы в калькуляциях себестоимости относительно продукции и отхода, как основы для придания отходу свойства товарной продукции, а также подчеркнута

энергоэнтропийная связь, существующая между продукцией и отходом, как доказательство принципа термодинамического двуединства и возможности системной трансформации источников энергии, которые используются в технологических процессах.

Одиннадцатая глава посвящена весьма оригинальным исследованиям, показывающим зависимость процессов отхоодообразования от объективных закономерностей развития технических систем. Такой подход позволяет зафиксировать некоторые актуальные свойства отходов, дающие возможности для нахождения новых способов их минимизации в источнике возникновения. Закономерности развития технических систем позволяют заниматься как модификацией сырьевой базы, ее структуры, так и возможными модификациями источников и видов энергии, которые применяются в технологических процессах, целенаправленно для указанных целей. Все это дает инженеру дополнительные возможности для решения основной задачи — минимизации отходов в источнике их возникновения.

Одним из наиболее эффективных способов управления материальными потоками отхоодообразования в технологических процессах являются «экологические циклы», роль которых в экосистемах планеты крайне высока. Этим исследованиям посвящена двенадцатая глава. Подобные вопросы рассмотрены и в контексте законов Б. Коммонера, которые являются системным подтверждением роли непрерывности потоков отхоодообразования в современной экосистеме Земли, и в контексте энергоэнтропийных зависимостей, характерных для получения отходов.

В тринадцатой главе систематизированы все описанные в монографии свойства отходов и процессов отхоодообразования, на основании которых предложена методика оценки появления тех или иных отходов в многообразии технологических процессов, связанных с наиболее распространенными — механической, тепловой и физико-химической обработкой сырьевых материалов. Материал проиллюстрирован рядом практических примеров.

И, наконец, четырнадцатая глава посвящена еще одному достаточно удобному и наглядному способу управления потоками отхоодообразования в технологических процессах — графопостроительному. Он ориентирован на применение системы формализованных преобразований моделей графов, удобно описывающих материальные потоки в любом технологическом процессе с выявлением механизмов, обеспечивающих появление отходов. Метод также проиллюстрирован рядом практических примеров реализации.

В целом такое изложение материала позволило, по мнению автора, достичь поставленной цели, а именно, показать не только природу отхода, как фундаментального явления, но и определить принципиально новые направления его минимизации в условиях жизнедеятельности человека.

Учитывая масштабность поставленной проблемы, даже второе издание книги не претендует на исчерпаемость исследований, потому, что, за ее преде-

лами остаются многие вопросы физиологических особенностей человеческого труда, как фактора производства отходов, психология отношения к отходам. Да и научная часть этого явления остается еще весьма мало изученной. Та часть работы, которая посвящена этим вопросам далеко не исчерпала себя и требует дальнейших глубоких исследований, осмысления и изучения.

К таким исследованиям можно присоединяться.

ГЛАВА 1 РОЛЬ І МІСЦЕ ФЕНОМЕНУ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ У СИСТЕМІ ПРИРОДОЗНАВСТВА

-
-
- 1.1. Поняття відходів
 - 1.2. Сучасні особливості виробництва при існуючих технологічних укладах з позицій процесів утворення відходів
 - 1.3. Поняття і властивості матеріальних потоків утворення відходів
 - 1.4. Особливості управління потоками відходів
-
-

1.1. Поняття відходів

Історія розвитку людства завжди була пов'язана з розвитком виробництва. Починаючи з примітивних технологій обробки каміння, дрібного землеробства і закінчуючи сучасним високотехнологічним виробництвом, нанотехнологіями і т.д. Отримання штучних матеріальних благ, які не залежать від природи, дозованих людиною протягом життєвого циклу («хочу — виробляю, хочу — ні»; «Я виробляю те, що потрібно, але те, чого немає в природі»; «Я виробляю стільки, скільки необхідно», «Я виробляю більше, ніж потрібно»), стали одним із найважливіших факторів історії, які зробили людину надзвичайно впливовою частиною природи.

Людина стала незалежною від збиральництва, від полювання як способу забезпечення власних засобів до існування. Навпаки, всі види ресурсів людина знайшла в самій природі і зробила їх залежними від неї. Це формування ріллі (землеробство), вирощування рослин, штучне тваринництво, гончарство, нові технології отримання їжі, отримання однокомпонентного металу, перший досвід отримання і перетворення енергії тощо. Штучні технології, штучне виробництво того, чого природа ніколи раніше не виробляла, зробили істотний вплив не тільки на розвиток людського суспільства, але й на саму природу. Природа не знає монокультури полів фермерів, багатьох порід худоби. Природа абсолютно не знайома з полімерами, порохом, колесом, мазутом, не знає, що таке мегабайт. Все це продукти штучних технологій.

Однак як зворотний бік медалі, як «шагренева шкіра» людства, виробництво необхідних людині продуктів завжди супроводжувалося тінню вироблених відходів, яка була присутня у всіх без винятку штучних технологіях. Неминучість утворення людиною відходів зазвичай не враховувалася ним. І якщо раніше цій проблемі приділялася лише незначна увага, то це тільки в зв'язку з етичними або гігієнічними нормами життя. Зростання кількості населення планети, гіперболізація обсягів виробництва, розвиток культури споживчого суспільства змусили людей інакше поглянути на відходи власної виробничої діяльності. І проблема перетворилася з локальної в глобальну, в першу чергу, власне, для існування людини на планеті.

Перед подальшим викладенням прояснімо деякі питання. У даній роботі нам доведеться оперувати такими поняттями, як технологічний процес, технічна система, виробничий процес і виробнича система. У літературі, в тому числі нормативній, зустрічаються більш-менш усталені пояснення цих термінів. Отже, по порядку [1].

Технологічний процес — це впорядкована послідовність взаємопов'язаних дій, які виконуються з моменту виникнення вихідних даних до отримання бажаного результату. Економічний словник [2] дає поняття технологічного процесу як сукупності технологічних операцій, які призводять до певного запланованого результату. Ці пояснення, на наш погляд, дещо розпливчасті.

Під технічною системою у Вікіпедії розуміється штучно створена система, яка призначена для задоволення конкретної потреби та існує: 1) як продукт виробництва; 2) як пристрій, потенційно готовий до виконання корисного ефекту; 3) як процес взаємодії з компонентами навколишнього середовища, в результаті якого формується сприятливий ефект. За іншими даними [3, 4] — технічна система являє собою інтегральну сукупність кінцевого числа взаємопов'язаних матеріальних об'єктів, що володіє послідовно взаємодіючими сенсорною і виконавчою функціональними частинами, це модель їх передбаченої поведінки в просторі рівноважних стійких станів із здатністю при хоча б одному з них (цільовому стані) самостійно виконувати споживчі функції, передбачені її конструкцією в нормальних умовах. Правильно, не дуже зрозуміло...

Згідно з Вікіпедією [1], **виробничий процес** — це сукупність дій робітників і інструментів, в результаті яких сировина, матеріали, напівфабрикати і комплектуючі, що надходять на підприємство, перетворюються в готову продукцію або послуги. Виробничий процес складається з основних, допоміжних і сервісних процесів. Очевидно, що в терміні виробничий процес присутній суб'єкт трудової діяльності — людина, без якої ці терміни втрачають своє значення [5].

Нарешті, поняття виробничої системи в літературі представлено в наступному вигляді: виробнича система — це сукупність методів, процедур і планів, які включають в себе всі функції, необхідні для обробки інформації і сировини на вході в готові товари і послуги на виході [6, 7].

Ми не будемо ні спростовувати, ні підтримувати ці інтерпретації, тому що кожна з них формулювалася заради вирішення окремих і дуже конкретних проблем. Спробуємо прояснити ці поняття в тій мірі, в якій їх інтерпретація була б корисна для розуміння складних явищ, пов'язаних із процесами утворення відходів. Останні, не варто зайвий раз уточнювати, безпосередньо пов'язані з виробничою діяльністю людини і відносяться саме до таких систем і процесів. Спробуємо прояснити ці поняття для цілей, які поставлені в даній роботі. Отже.

Технологічний процес — це сукупність фізичних, хімічних та інших явищ, закономірностей і ефектів, послідовно реалізованих у певній системі, які дозволяють цілеспрямовано змінювати стан деякої сировини, забезпечуючи його результат потрібними корисними властивостями і споживчими якостями. Цим ми надаємо терміну технологічний процес дещо інше смислове значення, пов'язане саме з тими об'єктивними діями фізичного та іншого характеру, які змінюють стан сировини до необхідного продукту.

Технічна система — це цілісна сукупність інженерних рішень, конструкцій, споруд, машин і механізмів, призначених для реалізації певного технологічного процесу і спрямованих на кінцевий результат — отримання корисної продукції. Це визначення відноситься до певного технологічного процесу і мало відрізняється від стандартного.

Виробничий процес — це комплекс дій, спрямованих на отримання корисного продукту, з використанням людської праці, спрямованих на реалізацію певного технологічного процесу за допомогою призначеної для цього технічної системи.

Також визначимо зазначені параметри назви «виробнича система», які конкретизують предмет дослідження і необхідні для використання в даній роботі. Отже.

Виробнича система — це сукупна інфраструктура, яка забезпечує управління певним виробничим процесом, що включає логістику сировини, енергії, інформації, готової продукції, відходів, включаючи людину і технічні системи, що призначені для реалізації заданого технологічного процесу.

Таким чином, система технологічного забезпечення, виробничий процес і технічна система є підсистемами для всієї системи — виробничої, яка включає в себе всю інфраструктуру забезпечення даного технологічного процесу.

Що стосується проблеми поводження з відходами та охороною навколишнього середовища від їх впливу, то ці питання повною мірою відображені в законодавчій літературі України та інших країн, у міжнародному законодавстві [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Проблеми відходів у виробничих системах були предметом неминучого, але систематичного вивчення в роботах фахівців в області техніки і технологій, екології та технології охорони навколишнього середовища, в працях економіс-

тів, математиків і соціологів. Результатом цих досліджень є усталена термінологія, знання в галузі ресурсозбереження, безвідходних та маловідходних технологій, методології екологічного менеджменту та раціонального розподілу ресурсів. Оpubліковано велику кількість робіт в області методів і засобів утилізації відходів в різних галузях промисловості. Тільки систематизація і сертифікація існуючих методів переробки відходів могла б обіцяти новий якісний результат в області скорочення відходів. Важливу роль у розробці основ мінімізації утворення відходів зіграли відомі вчені — лауреат Нобелівської премії академік М. М. Семенов, академіки І. В. Петрянов-Соколов, Б. П. Кухар, Б. М. Ласкорін і багато інших.

У ґрунтовній монографії М. Ф. Реймерса [14] **відходи** — це вид сировини, непридатний для виробництва конкретної продукції, її невикористані залишки або речовини, отримані в ході технологічного процесу (тверді, рідкі, газоподібні), а також енергія — все те, що не утилізується на даному виробництві. У лексичному понятті під відходами розуміється залишок виробництва, придатний для якихось інших цілей [15, 16]. У роботі [17] під визначенням «відходи» розуміється щось, що не підлягає подальшому використанню в місці його утворення.

Базельська конвенція про транскордонне переміщення відходів дає наступне пояснення поняття «відходи»: це речовини, які утилізуються або повинні бути утилізовані відповідно до умов національного законодавства країни [18].

Закон України «Про відходи» дає наступне роз'яснення поняттю відходів: будь-які речовини, матеріали і предмети, які були отримані в процесі виробництва або споживання, а також товари (продукти), які повністю або частково втратили свої споживчі якості і не можуть бути в подальшому використані в місці створення або появи та яких власник позбавляється, має наміри або повинен позбутися шляхом утилізації або видалення [19]. Згідно з Державним класифікатором відходів України ДК 005–96 відходи визначаються як будь-які речовини та об'єкти, що утворюються в процесі виробництва і життєдіяльності людини або в результаті природних або техногенних катастроф, які не мають свого подальшого призначення в місці утворення і підлягають знешкодженню або переробці з метою забезпечення охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей, або з метою їх повторного залучення до господарської діяльності як матеріальні та сировинні або енергетичні ресурси.

Закон України «Про відходи» фактично дублює це формулювання в стислій формі, повторюючи основні ознаки відходу [19]. Таким чином, відображена основна суть поняття «відходи». Здається, що більшого тут очікувати важко.

Сюди ж відноситься розуміння небезпеки відходів як фактору забруднення навколишнього середовища, який може загрожувати здоров'ю людини або чинити інший негативний вплив на довкілля.

Своє суттєве навантаження несе поняття «**промислові відходи**». В цілому це непридатні для виробництва залишки, а також нові речовини, які не утилізуються в даній технології. Поняття промислових відходів диференціюється за ієрархічною структурою виробничої системи. Тому що відходи одного виробничого циклу можуть залишатися сировиною для іншого. В рамках зовнішньої системи промислові відходи — це невикористані і неперероблені залишки матеріалів, невикористані види сировини.

Поняття відходів у тому сенсі, в якому воно бачиться зараз, є настільки різноманітним, що відобразити всі його властивості в єдиному формулюванні просто неможливо. Зокрема, мається на увазі відображення фізичного стану відходів, розуміння співвідношення побічного продукту виробництва і його відходів, тієї частини відходів, яка утворюється на даному виробництві і після певної переробки використовується в одному і тому ж виробництві, його економічна складова.

Наприклад, згідно з директивами Європейського Союзу, відходи — це будь-яка речовина або об'єкт, якого власник позбавляється або має намір утилізувати, або зобов'язаний це зробити.

Подальших вправ у законодавчому полі заради приписування відходу якихось нових якостей поки не передбачається.

На нашу думку, необхідно, перш за все, розуміти, що будь-який відхід — це рівноправний і неминучий продукт будь-якого штучного технологічного процесу, це продукт виробництва, який (поки що) не потрібен людині. Відходи виробництва в природному середовищі виступають, з одного боку, як забруднення, що займає в ній певний простір і чинить негативний вплив на інші живі і неживі об'єкти і речовини. З іншого боку, вони можуть виступати в якості вторинних матеріальних і енергетичних ресурсів для можливої утилізації відразу після утворення або після відповідної переробки [20].

У науці терміну «відходи» дається дещо розширене і більш довільне формулювання, основна суть якого може бути пов'язана з наступними властивостями відходів:

1) відходи — це залишки матеріалів або енергії, які не використовуються в даному виробництві;

2) підкреслюється непотрібність відходів на місці їх появи (ця особливість дуже важлива при розумінні причин утворення відходів, оскільки побічно дає таку важливу властивість відходів, як їх початковий зв'язок з конкретним виробництвом, з обраними технологіями);

3) декларується ідентичність якісних характеристик відходів із матеріалами сировини і виробничої бази;

4) затверджується втрата (повна або часткова) відходами споживчих якостей;

5) визнається корисність (повна або часткова) відходів при певних умовах переробки.

До цього переліку можна додати таку важливу властивість відходів для розуміння природи утворення відходів, як їх об'єктивна даність, що супроводжує будь-який вид виробничої діяльності людини. Недарма неминучість відходів на будь-якому виробництві вважається фактом. В принципі, науці не відомі штучні або природні технології переробки матеріалів, які б не супроводжувалися утворенням відходів. Відсутність відходів у виробничій системі є істотним протиріччям другому закону термодинаміки і, взагалі, положенням енергоентропії, в тій її частині, яка відноситься до втрат енергії, розсіювання енергії, розсіювання матеріальних потоків тощо.

Все це робить проблематичними будь-які заяви про безвідходність промислових технологій. Навіть без додаткових досліджень можна стверджувати, що абсолютно безвідходних технологій не існує. Недарма сьогодні фахівці більше говорять про мінімізацію відходів, про певний мінімум утворення відходів, ніж про безвідходність. Що це за мінімум, як він залежить від фізичних та інших явищ, які лежать в основі технологічного процесу, від його енергії? Ці питання потребують розумних відповідей, інакше управління процесами утворення відходів перетворюється в інтуїтивну дію. Вперше відповіді на ці питання з'явилися в першому виданні авторської монографії «Природа отходовобразования» у 2007 році, як попередні дані.

Як показує практика, механізм формування основного продукту найчастіше всього є співставним в основних принципах з механізмами утворення відходів саме в даній технології. Зокрема, мається на увазі еквівалентність джерел енергії для перетворення продуктів і відходів, способи обробки матеріалів, особливості структури матеріалів, що входять до складу сировини, готової продукції та відходів тощо. Відходи і корисні продукти — це результат одного перетворення — механічного, теплового, хімічного, електричного і т. д., на яких побудований даний технологічний процес.

Поняття відходів пов'язане з такими схожими поняттями, як «матеріальний вторинний ресурс» і «втрати». В роботах [21, 22], наприклад, доводиться економічна еквівалентність понять «відходи» і «втрати», при цьому підкреслюється, що втрати при певних умовах переходять у розряд відходів. В економічному плані відходи представляють інтерес як потенційне джерело доходу, враховуючи вже вкладену в них працю. Але при цьому сама робота, що дає життя непотрібному відходу, стає проблемною за своєю суттю, якщо звернутися до праць С. Подолинського. Неузгодженість термінології, що виникла в результаті, призвела до того, що багато авторів пропонують взагалі відмовитися від назви «відходи» і використовувати терміни «вторинна сировина», «вторинні ресурси» [23]. ГОСТ 25916–83 відходи виробництва і відходи споживання об'єднує в загальну групу вторинних матеріальних ресурсів.

За результатами роботи Всесвітнього екологічного центру, в 1990-х роках було уточнено поняття відходів як будь-якого виду ресурсу, який

не в повній мірі використовується для виробництва продукції та надання послуг [24].

Підкреслюючи роль і місце явища утворення відходів у системі природознавства, слід звернути увагу на відому властивість виробничих систем, пов'язану з переробкою найрізноманітнішої мінеральної сировини. Назвемо цю властивість робочою назвою — моноцид матеріалу (рис. 1.1). Він полягає в наступному.

Сировинна база штучних виробничих процесів, як правило, є багатокомпонентною. Це стосується практично всіх видів рудної сировини, корисних копалин, нафти, газу, вугільної сировини і т.д. Тому технології процесів переробки таких матеріалів спрямовані в першу чергу на збагачення мінеральної сировини на користь всього одного-двох (корисних) компонентів, що входять до складу вихідного матеріалу, який називається сировиною. Створюються спеціальні технології переробки, виділення, сепарації, агломерації, гідроекструзії, коксування, механічної та хімічної переробки цієї сировини задля отримання цього єдиного компонента, який всіма силами вивільняється із сировини. Ці технології, як правило, пов'язані з поділом всієї сукупності компонентів сировинної бази за безліччю властивостей (фізичних, хімічних, економічних) і, перш за все, за споживчими характеристиками.

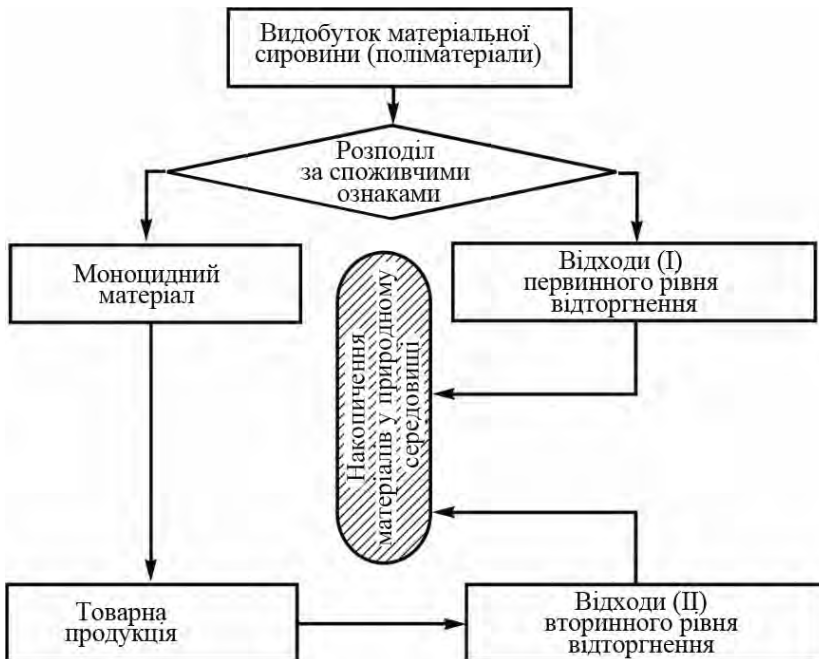


Рисунок 1.1 — Моноцид мінеральних ресурсів

Ті компоненти, які відповідають певним споживчим вимогам, перетворюються в системі виробництва в готову продукцію з певними, заздалегідь заданими властивостями. Але вони практично завжди стають умовним однокомпонентним (моноцидним) матеріалом. На його основі формується товарна продукція (метал, зерно, тканина, полімер, бензин, кокс та ін.). Ті компоненти сировини, які не мають необхідних властивостей і характеристик у рамках існуючої виробничої системи, відбраковуються від «потрібних» компонентів і відносяться до відходів першого рівня відторгнення (див. рис. 1.1), утилізуються в навколишнє середовище (звалища, відвали, хвостосховища, неорганізовані скупчення) у вигляді багатоконпонентних відходів. Готові (моноцидні) вироби, що складаються з одного або двох компонентів, після закінчення експлуатації також потрапляють у відходи вторинного рівня відчуження і частково потрапляють у навколишнє середовище, утворюючи особистий перетин вторинних відходів (див. рис. 1.1). При цьому, якщо відходи первинного рівня можна компактно зберігати у відвалах, то відходи вторинного рівня після експлуатації набагато сильніше розсіяні в просторі і часі, і можуть накопичуватися за зовсім іншим принципом. Цей складний механізм підлягає вивченню, адже процеси, що призводять до його виникнення, піддаються контролю, а механізм утворення вторинних відходів у цьому випадку стає більш очевидним.

Моноцид, як явище, є однією з найважливіших причин утворення відходів, поява яких обумовлена наступним протиріччям: примусовий багатоконпонентний характер сировини і практично завжди необхідний одно-двокомпонентний корисний продукт призводять до того, що всі інші компоненти є відходами. При цьому відходи первинного рівня, як правило, багатоконпонентні, але компактно розташовуються в сховищах. А вторинні відходи (післяексплуатаційні відходи) — це найчастіше, умовно, одно-двокомпонентні, але розсіяні в природному середовищі. Звичайно, така схема дуже приблизна, але вона має право на існування.

Моноцид виробництва легко розглянути на прикладах сільськогосподарських систем. Будь-яке оброблюване поле — це не що інше, як моноцидна система по відношенню до всіх інших видів рослин, розташованих на цій території. Всі інші непотрібні рослини видаляють з таких полів, залишаючи тільки необхідну людині монокультуру, яка, в свою чергу, витягує з ґрунту тільки обмежені за своєю необхідністю речовини, мінерали, необхідні для підтримки життєдіяльності цієї монокультури, включаючи штучні підгодівлі і добрива. При цьому ґрунт вибірково збіднюється мінералами і мікроелементами і стає непридатним для подальшого вирощування подібних монокультур. Таке поле можна умовно віднести до сільськогосподарських відходів. При вторинному застосуванні його необхідно знову збагатити мінімумом тих самих необхідних мікроелементів для підтримки плодючості. Рослини такої екосистеми, як пра-

вило, дуже чутливі до зовнішніх впливів — температури, опадів, вітру, біологічного впливу.

Для порівняння, мультикультурний дикий степ з його багатотравністю і дикорослими злаками більш пристосований до зовнішніх природних умов, оскільки кожна рослина знаходить свою нішу ґрунтових мікроелементних ресурсів для підтримки власної життєдіяльності і, пригнічуючись наприкінці життєвого циклу, залишає свою мікроелементну базу на тому ж полі. На наступний рік завжди буде місце, щоб вся ця дика біомаса проросла на такому полі вдруге, втретє. Без додаткового підживлення і вторинного відновлення, без будь-якого захисту ґрунтів від морозної та вітрової ерозії. Така земля не втрачає своїх якостей відтворення і не може бути втрачена у вигляді умовних відходів.

Давайте тепер поставимо питання — що є більш стійким: дикі природні рослини чи рослини, культивовані людиною? Відповідь очевидна.

Те ж саме в повній мірі відноситься і до штучного тваринництва.

Важливою властивістю відходів є дисипація (розсіювання) їх елементів у замкнутих екологічних циклах. Вона пов'язана з регулюванням розподілу матеріалу в процесі його перетворення. Наприклад, залізо, що входить до складу природної залізородної формації, зосереджено в просторі із середньою щільністю $0,8 - 1,1 \text{ т/м}^3$. Така ж об'ємна концентрація чавуну в готовій продукції після її виробництва у вигляді, наприклад, готового прокату може досягати $4,0 - 6,5 \text{ т/м}^3$ (не плутати з питомою вагою речовини). Оперативна дисипація (розсіювання) прокату, наприклад, на території мегаполісу, може досягати об'ємної концентрації $1,10^{-7} \text{ т/м}^3$ або менше. Ступінь розсіювання залежить від споживчої цінності ресурсу, його соціальної значущості. Наприклад, експлуатаційна дисипація заліза і золота, відповідно, непорівнянні, частки перероблених і необоротних частин відходів також дуже нерівні (на користь золота). Для виробів із чорних металів щорічні безповоротні втрати складають до 50% виробленої в світі сталі, а для золота — всього 2–5%. Не слід забувати, що це повторне розсіювання колись концентрованого невідновлюваного природного ресурсу має місце і на останньому етапі життєвого циклу продукту — його переході у вторинні відходи.

Саме розсіювання матеріалу в процесі його експлуатації, в тому числі за рахунок торгівлі, логістики надходження товару до споживача, який нерівномірно розташований по всьому світу у вигляді країн-споживачів, підприємств, торгових систем, окремих, в тому числі мігруючих споживачів, робить його нездатним до утилізації в замкнутому циклі, сприяє утворенню безповоротних відходів. Використання дисипаційних властивостей матеріалу на різних етапах його перетворення є дуже перспективним для управління станом довкілля.

На наш погляд, важливим моментом у розумінні природи відходів є той факт, що як вироблена продукція, так і відходи цього виробництва мають ще одну загальну властивість. Для них використовувалася частина собівартості,

яка була закладена на попередніх виробництвах, а також закладена в даному виробництві. Це витрати як на частину сировини, що становила матеріальну частину продукції, так і на частину сировини, яка перетворилася у відходи, а також відповідні енерговитрати і трудовитрати, які стосуються виробництва як продукції, так і відходів. Найцікавіше, що при розрахунку будь-якого виробництва ці статті витрат перекладаються тільки на готову продукцію. Певною мірою можна вважати, що основні причини появи відходів закладені в теорії додаткової вартості і тісно пов'язані з нею.

Адже, створюючи своєю працею додаткову вартість, людина в процесі виробничої діяльності отримує не тільки корисні продукти, в яких ця додаткова вартість відбивається. Також вона має і не потрібні їй продукти у вигляді відходів, які також, звичайно, мають свою «трудомістку» ціну, але яка з якихось причин не обкладається додатковою вартістю. Виходить, що результати утворення відходів, що з'являються в результаті виробництва корисних продуктів, є їх постійними супутниками, але, судячи з теорії додаткової вартості, вони створюються немов самі по собі, зокрема, без наочних трудових витрат. Адже вся додаткова вартість, що виникає в процесі виробництва, повністю переноситься на вартість основного продукту, а не на відходи.

Навіть проста логіка підказує, що так не повинно бути. В ідеалі частина додаткової вартості повинна використовуватися для компенсації відходів даного виробництва. Проте цього не має у Маркса або його послідовників. Але, хто заважає нам разом з готовим продуктом продавати споживачеві ту частину відходів, яка відноситься до реалізованого товару? Це складно. Це незвично. Але це правильно. Адже ми продаємо знос обладнання, на якому виробляємо цю продукцію, переводячи його на собівартість продукції у вигляді амортизаційних відрахувань. Чому не можна амортизувати відходи і забруднення взагалі? При цьому додаткова вартість у виробництві збільшуватися не буде. Просто частина її піде в ту частину виробленої продукції, яка називається відходами. Проблема в тому, що покупцеві не потрібне таке «навантаження» на товар. Відбудеться тільки те, що називається розсіюванням матеріального потоку.

Зрозуміло, що «це не варіант». Краще щось робити з відходами безпосередньо в місці їх утворення, у джерелі появи відходів. Але для цього потрібні інвестиції, які, хочемо ми того чи ні, підвищують цінність основного продукту. І тут необхідно переглянути структуру додаткової вартості як форми трудових витрат між усіма матеріальними потоками в даному виробництві незалежно від їх суб'єктивної корисності. Ми згодні з тим, що без знання законів економічного розвитку така проблема не може бути вирішена правильно.

Зрозуміло, що і додаткова вартість — це ще не зароблені гроші. На них не можна купити атрибути екологічного благополуччя. Тут у гру вступають цінові механізми, ступінь ліквідності готової продукції (до речі, при всіх можли-

вих маніпуляціях з відходами їх ліквідність як товару завжди мінімальна), закони ринкових відносин. Тобто те, що формує реальний прибуток підприємства.

Жоден підприємець за власною ініціативою не стане відносити трудовитрати свого виробництва на ту частину продукту, яка не має товарної вартості, тобто на відходи. Надалі, коли ці відходи можуть бути реалізовані, дохід від їх реалізації аж ніяк не вписується в балансові показники підприємства. Це свого роду додатковий результат, в який у кращому випадку закладаються витрати на заготівлю відходів, переробку, доведення їх до товарного стану, але не витрати основної продукції, які були віднесені для їх отримання. Найчастіше дуже складно розділити витрати за різними статтями між готовою продукцією і відходами. Але в будь-якому випадку таке змішання за статтями витрат сприяє збільшенню собівартості та здорожчання основного продукту. В умовах такої невизначеності дуже легко сформулювати прості теореми про, здавалося б, безвідходні технології і галузі.

Ще в 1984 році на симпозіумі ЄЕК ООН з маловідходних технологій (Ташкент) було прийняте наступне формулювання поняття «безвідходна технологія», пов'язане з поняттям «відходи». «Це такий спосіб виробництва, при якому вся сировина й енергія використовуються найбільш раціонально і комплексно в циклі «сировина — виробництво — споживач — вторинні ресурси» і вплив на навколишнє середовище не порушує його збалансованості. Основою безвідходного виробництва є комплексна переробка сировини з використанням всіх її компонентів, оскільки відходи виробництва з тих чи інших причин є невикористаною частиною сировини» [25, 26, 27, 28, 29, 30]. Відповідей на питання про ці причини в досліджуваній літературі немає. Зокрема, яка частина сировини і чому не використовується. Але ж і сировина не завжди попадає у відходи в чистому вигляді, а у вигляді довільно переробленої її частини. Найчастіше кінцеві властивості цих відходів істотно відрізняються від властивостей вихідної сировини.

Основними формами організації безвідходного виробництва вважаються: комплексна переробка сировини з використанням всіх її компонентів, оскільки відходи виробництва з тих чи інших причин є невикористаною частиною сировини; наявність сукупності спеціалізованих груп підприємств, що працюють над комплексною переробкою сировини в межах міжгалузевої кооперації [31, 32, 33, 34]. Під комплексною переробкою сировини тут мається на увазі використання всіх (?) компонентів сировинної бази, виробництво продукції з урахуванням вимог її повторного використання, переробка всіх (?) відходів виробництва в товарну продукцію, зниження матеріаломісткості та енергоємності виробництва. При цьому, як правило, не вказуються умови і межа цього зниження. Існує величезна кількість досліджень, які показують, що переробка всіх компонентів сировини і всіх відходів у сучасних технологіях просто неможлива, не кажучи вже про зайві витрати енергії та праці. Причини такої осо-

бливості також не вивчені. Зокрема, це стосується умов узгодження відходів і сировини для переробки в заданому технологічному процесі, за допомогою закладеної в нього енергії. Крім того, будь-який процес переробки відходів, в свою чергу, приносить комплекс додаткових відходів, найчастіше порівняних із кількістю додаткової товарної продукції.

Створення ресурсозберігаючих технологій означає їх здатність значно знизити утворення відходів [35]. У таблиці 1.1 систематизовано основні напрямки ресурсозбереження, викладені в роботах [36, 37].

Таблиця 1.1 — Розподіл деяких ресурсозберігаючих факторів за функціональними характеристиками

ФАКТОРИ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ		
Конструкторські	Технологічні	Організаційні
1. Удосконалення конструкції виробу	1. Впровадження нових прогресивних технологій (маловідходних та безвідходних)	1. Нормування матеріальних ресурсів
2. Оптимізація структури конструкційних матеріалів	2. Заміна застарілого обладнання	2. Прискорення оборотності матеріальних ресурсів
3. Підвищення експлуатаційних якостей продукції	3. Зменшення відходів сировини та матеріалів	3. Розширення використання повторних матеріальних ресурсів
	4. Усунення дефектів продукції	4. Удосконалення організації роботи
	5. Комплексна переробка сировини	5. Управління структурою виробничих програм
	6. Технічний контроль за використанням матеріальних ресурсів	
	7. Механізація та автоматизація технологічних процесів	

Як наслідок, технологія безвідходна — це та технологія, що забезпечує теоретично досяжний (?) мінімум відходів всіх видів [16], проте її ще не навчилися розраховувати. Що це за мінімум, до сих пір незрозуміло. У той же час обсяг відходів переробленої сировини може служити непрямим показником досконалості технології: чим вона досконаліша, тим менше відходів [38].

Однак ступінь такого зв'язку в дослідженнях вітчизняних і зарубіжних авторів не вивчений.

Таким чином, необхідно визнати невідповідність самого поняття безвідходної технології вектору спрямування в ній зусиль на мінімізацію відходів, *але не на усунення самого процесу утворення відходів*. У більшості лексикографічних видань, наприклад [14, 15, 16], термін «безвідходна технологія» і його смислове значення сильно відрізняються. У контексті це означає визнання того, що ці назви відображають мінімально досяжний рівень утворення відходів, який обумовлений деякими закономірностями, зміст яких, однак, до кінця не досліджено [39, 40]. При цьому і тут теоретично досяжний мінімум відходів всіх видів до сих пір не розрахований.

Очевидною є умовність цієї термінології, невідповідність лексичного та функціонального смислового навантаження в назвах «втрати», «відходи», «безвідходна технологія». У зв'язку з цим у 1990-х роках в літературі з'являється і використовується термін «мінімізація відходів», який у контексті Програми Всесвітнього екологічного центру має зміст як будь-якої діяльності, що сприяє зменшенню кількості відходів, що з'являються в процесі функціонування підприємств. Саме цим мінімізація відрізняється від переробки та утилізації відходів. Основними напрямками мінімізації відходів, за даними Всесвітнього екологічного центру, є: зміна складових матеріальної бази, економія ресурсів, традиційна переробка відходів, використання альтернативних видів енергії, енерго- та водозбереження, продаж відходів як побічних продуктів, переробка упаковки, економія часу, відновлення земельних ресурсів [41, 42, 43] тощо.

В рамках ЮНІДО ще в 1992 році була розроблена і затверджена резолюцією Генеральної Асамблеї ООН № 42/187 Програма *ESID (Ecologically Sustainable Industrial Development)* як керівництво з промислового розвитку з метою задоволення потреб людини в поколіннях без будь-якого порушення стану природного середовища. Документ, який так і не був повністю реалізований на практиці, хоча його раціональність не викликала сумнівів. Програмою *ESID* передбачалося поняття «екологічно чисте виробництво», яким вчені і громадськість зробили спробу примирити природу і людину, згладити антагоністичне протиріччя між потребами людини і можливостями природи.

В цілому під «екологічно чистим виробництвом» стосовно виробничих процесів розуміється зниження енергетичних та матеріальних витрат, усунення з використання токсичних матеріалів, зменшення токсичності відходів та викидів. А що стосується готової продукції, що відправляється в експлуатацію, то «екологічно чисте виробництво» означає мінімізацію антропогенного впливу на навколишнє середовище з боку продукту протягом його життєвого циклу, тобто протягом усього періоду експлуатації.

Такий підхід згладжує протиріччя будь-якого виробництва з точки зору його екологічної небезпеки, робить процес досягнення екологічної чистоти по-

ступовим, безперервним і нескінченним до досконалості в міру розвитку техніки, розширення знань у різних областях науки.

До недавнього часу вчені не ставили питання про мінімум утворення відходів для будь-якого виробництва. Ми просто не знаємо, як це розрахувати. Натомість були запропоновані різні методи оцінок, технології, їх ліцензування. Наприклад, ліцензійне виробництво порівнюється з максимально високою, з відомих, технологією (*BAT* — «*Best Available Technology*»), яка вже має місце на практиці [44]. Показники *BAT* порівнюють з ліцензованим виробництвом і дають висновок про екологічну чистоту даного виробництва. При цьому умовність і невиразність таких оцінок очевидна хоча б тому, що багатопрофільні галузі можуть мати різну матрицю показників чистоти по відношенню до природного середовища. При цьому в *BAT* показники по окремих позиціях можуть бути трохи гірші, ніж у ліцензіата. Адже мова поки йде про справжні, але не ідеальні виробництва.

Проте, екологічно чисті технології та експертиза щодо *BAT* стали реальними кроками до мінімізації відходів, мінімізації факторів техногенного впливу промислового сектора на навколишнє середовище. Особливо, якщо розглядати потокову безперервність процесів накопичування відходів.

Розуміння ролі потоку відходів у виробничій системі має певне значення при вивченні природи утворення відходів. Процес утворення відходів не випадковий, ресурси технологічного процесу використовуються, у тому числі, для його здійснення. Перш за все, це стан і джерело сировинної бази, енергія виробничого процесу, фактична і необхідна якість продукції тощо. Результатом такої переробки є, знову ж таки, матеріальні потоки — продукти і відходи. Тому, на наш погляд, методологічно правильно вивчати процес утворення відходів у виробничих системах із позицій динаміки взаємодіючих матеріальних і енергетичних потоків. При цьому важливими властивостями стають чисто динамічні показники: стійкість потоків матеріалів, що беруть участь в утворенні відходів, ступінь енергетичної рівноваги системи, якість використовуваної енергії, інерційність системи, співвідношення часу при русі матеріалів у технологічних процесах та інші властивості цих потоків.

1.2. Сучасні особливості виробництва при існуючих технологічних укладах з позицій процесів утворення відходів

Обговорення утворення відходів у технологічних укладах є надзвичайно актуальним для сучасного технологічного суспільства хоча б тому, що вони закладають для майбутнього проблеми, з якими постійно стикається суспільство при традиційних технологічних укладах, зокрема з тими, що пов'язані зі ступенем впливу на навколишнє середовище [45, 46, 47, 48].

Нерівномірність розповсюдження сучасних технологічних укладів суттєво гальмує їх розвиток у світі (табл. 1.2), але робить їх найважливішим інструментом у вирішенні багатьох сучасних економічних та екологічних проблем і навіть у політичних питаннях [48]. Як приклад можна навести глобальну динаміку угод із високовідходними технологіями IV і навіть III технологічних устроїв у країнах третього світу (Китай, Індонезія, Індія, Бразилія) кінця минулого століття і переважне розміщення сучасних технологій V і VI технологічних устроїв у США, Західній Європі, Японії.

Таблиця 1.2 — Частка технологічних укладів в економіці окремих країн і регіонів (за джерелами [49, 50, 51, 52])

Країна	Технологічний уклад,%			
	III	IV	V	VI
США	–	20	60	5
Японія	–	10	55	20
Західна Європа	5	25	45	5
Росія	30	50	10	–
Бразилія	40	45	10	–
Україна	58	38	4	–

Далеко не все в порядку і з виробництвами шостого технологічного укладу. Такі технології, як нано-, засновані на асемблюванні нанопродуктів з вихідних наночастинок, які, за загальним задумом їх засновників Н. Танігучі, Х. Дрекслера і Р. Фейнмана, повинні бути практично безвідходними [53, 54], на даний момент не є такими. Причому, якщо враховувати обсяги утворення їх відходів, доведені до обсягу товарної продукції, то такі виробництва п'ятого і шостого технологічних устроїв програють навіть технологіям четвертого і третього устроїв. Про це свідчать розрахункові співвідношення функцій споріднення і відторгнення, що визначені за нашим методом [55] і показують відносну потужність відходів виробництва в будь-якій технології (табл. 1.3). Причина здебільшого криється в тому, що фахівці в області технологій шостого устрою практично співвідносять нові технології за своїми ідеологіями з технологіями більш низьких устроїв, тим самим своєрідно «розвиваючи культуру» утворення відходів.

Структура сучасної класичної системи технологічного процесу включає особливу технічну систему (ТС) (рис. 1.2), що покликана забезпечити здійснення цього процесу. При вході в таку систему обов'язковим є певний матері-

альний сировинний потік (S_k — безперервний або дискретний), потік енергії (E_0), який активізує інструменти самої технічної системи (ТС), щоб цілеспрямовано змінювати стан сировини, а також інформаційний потік I_0 , який по суті відображає методи і допустимі умови переробки сировини в матеріальні потоки готової продукції (P) і відходів (\bar{W}). На виході системи ми традиційно маємо власне корисні продукти (P), заради яких й існує ця система виробництва та її відходи (W), структура і якість яких довільні і залежать від багатьох факторів самого виробничого процесу. Ця схема кочує по літературних джерелах незалежно від наукових цілей публікацій.

Таблиця 1.3 — Розрахункове співвідношення функцій спорідненості та відторгнення для матеріальних потоків у нанотехнологіях

Найменування технології	Матеріально-технічна база експериментального виробництва, г			Функція	
	Сировинна	Продуктова	Відходи	Споріднення	Відторгнення
Отримання нанопорошків(1)	0,25	0,17	0,08	0,68	0,32
Виробництво нанодротів(2)	0,070	0,063	0,007	0,90	0,10
Отримання «файн-мета»(3)	100,0	77,5	22,5	0,775	0,225
Отримання вуглецевих нанотрубок(4)	0,030	0,0285	0,0015	0,95	0,05
Технології інтенсивної пластичної деформації,(5)	160,0	149,7	10,3	0,936	0,064
Технологія механосинтезу*	0,010000	0,009975	0,000025	0,9975	0,0025

(1) — за даними роботи [57]

(2) — за даними роботи [58]

(3) — за даними роботи [59]

(4) — за даними робіт [60] і [61]

(5) — за даними робіт [62] і [63]

* — дані отримані розрахунковим шляхом з використанням методик [58] та [64].

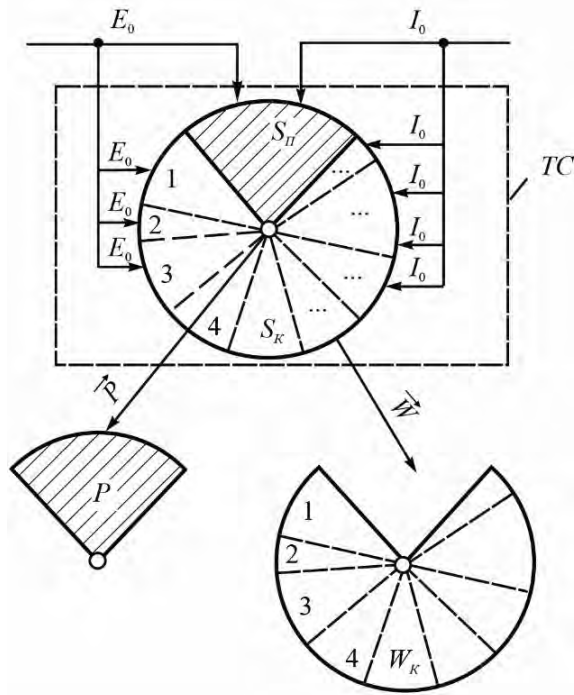


Рисунок 1.2 — Умовна схема традиційного технологічного процесу (позначення в тексті)

Звернемо увагу на деякі особливості такої схеми.

1. Сировинний потік, як правило, полікомпонентний, складається з « n » компонентів і призначений для отримання корисних продуктів у вигляді, найчастіше, монокомпонентної речовини (S_p). Решта компонентна складова сировинної бази (S_k , $k=(1(1)n)$), якщо і переробляється, то тільки тими ж способами, що і основний компонент. І не більше того. Якщо основний компонент (для отримання) переробляється, наприклад, за допомогою теплової енергії, то й інші компоненти (S_k) сировинної бази також переробляються цим видом енергії. Найчастіше виробнича система не має інших джерел енергії.

2. Джерело енергії в технологічному процесі вибирається відповідно до існуючих інженерних і наукових уявлень про методи отримання необхідного корисного продукту з даної сировини. Загальні умови такі. Початковому корисному компоненту сировинної бази, в рамках даного технологічного процесу, повинен відповідати такий енергетичний ресурс, за допомогою якого з нього отримують товарну продукцію. Решта компонентів сировинної бази автоматично підпадають під дію того ж самого джерела енергії (див. рис. 1.2). При цьому вони зазнають найбільш довільні перетворення, що згодом робить їх непридатними в якості товарної продукції: такі компоненти або частини сиро-

вини для основного технологічного процесу деформуються (наприклад, стружка), взаємно спікаються (шлаки), змішуються (сипучі речовини), взаємно розчиняються (забруднення) і т.д., під дією того ж самого джерела енергії, що є в даному технологічному процесі. Приклади очевидні. Для корисної зміни цих компонентів потрібна інша енергія, інші технологічні умови (інша інформація). Переважна більшість існуючих технологічних процесів до цього не пристосовані (такі завдання на них ніколи не покладалися).

Приклад? Сировинна база доменного процесу містить до 20 компонентів, серед яких хімічні сполуки кремнію, сірки, фосфору, марганцю, вуглецю та ін. Нам же ж треба отримати тільки залізо або його вуглецеву похідну у вигляді чавуну. Для цього в технологічному процесі використовується тепла енергія згоряння природного газу і коксу. Екзотермічну енергію окремих реакцій поки не враховуємо. Вони не дають суттєвого приросту енергії в доменній печі. Енергія джерел тепла, що показані вище, також використовується для переробки інших з вищевказаних компонентів вихідної сировини.

Так, у максимально спрощеному варіанті має право на існування гіпотеза про те, що характер утворення відходів може бути укладений в дві рівнозначні складові: багатоконпонентна сировинна база і локальні джерела енергії, які використовуються в даному технологічному процесі, і в їх сумірності.

Це так. Існують технології збагачення, флотації, сепарації, при яких відбувається примусове збільшення частки компонентів сировинної бази, з яких потім отримують товарну продукцію, або відбувається відділення одних, «потрібних» компонентів від інших, «непотрібних» (рис. 1.3). Це технології своєрідної попередньої підготовки сировини до заданого технологічного процесу, для чого в системі повинні бути свої джерела енергії (E_0 і E_1), свої правила у вигляді інформаційних потоків (I_0 і I_1). І не більше. Всі вони принципово відрізняються від технології, що ми пропагуємо. Для останньої повинно бути те, що кожен, або майже кожен компонент сировини, переробляється до стану товарної продукції за допомогою необхідної для цього енергії.

Ідеально, коли в технологічному процесі є як технічні, так і енергетичні умови переробки кожного компонента сировинної бази (рис. 1.4). Зокрема, система, крім власного джерела енергії (E_0), призначеного для переробки необхідної частини сировини (S_p), повинна додатково містити таку енергію (e_k) і таку інформацію (i_k), які як за якістю, так і за кількістю відповідають вимогам, що пред'являються до переробки кожного іншого компонента (S_k) в обсязі сировинної бази для подальшого перетворення її в корисні продукти (назвемо це відходами з ознаками корисних продуктів — $W_k(P)$). Звичайно, для цього потрібні нові технології (Ue_k), нові джерела інформації (Ui_k). Технологів, в першу чергу, цікавить, яким чином можна переробляти первинну сировину для отримання запрограмовано корисних продуктів. І, як правило, мало хвилює питання про те, як зміняться властивості, структура і зовнішній вигляд

інших складових сировинної бази. В результаті ми маємо те, що називається компонентною базою відходів — непотрібними продуктами конкретного виробничого процесу.

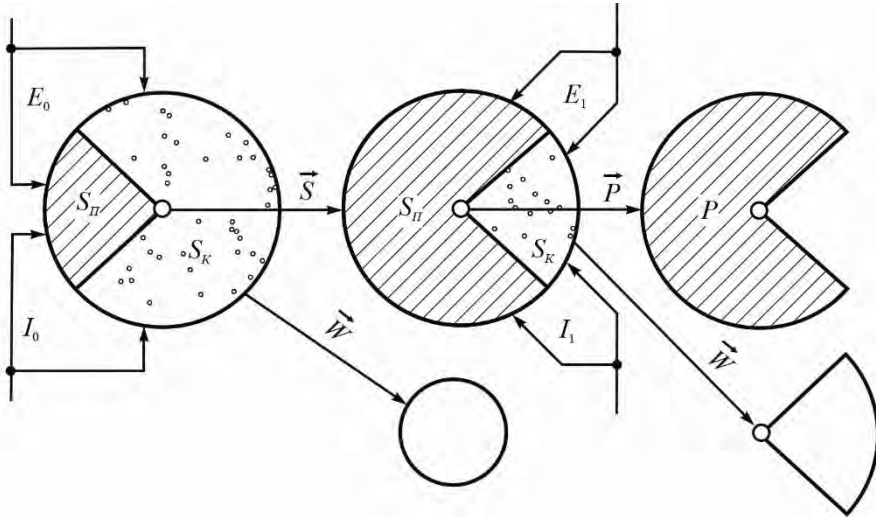


Рисунок 1.3 — Умовна схема технології збагачення сировини.
(Позначення в тексті)

Спробуємо уявити абстрактний технологічний процес (назвемо його полі-модальним, для простоти відмінності від класичних), при якому кожному компоненту сировинної бази було б відповідне таке джерело енергії, яке однозначно переробляло би його, незалежно від стану інших компонентів сировинної бази, для подальшого використання.

Повернемося до нашого доменного процесу. Без урахування конструкції доменної печі уявімо собі деякий фізико-хімічний реактор (*R*) (див. рис. 1.4), в якому відбувається функціональний поділ багатокомпонентної сировини (*S*) у вигляді доменної руди, флюсових добавок і коксу на окремі компоненти: деякі сполуки кремнію, сірки, фосфору, окремо — миш'як, окремо інші компоненти рудного матеріалу (табл. 1.4). В такому випадку розрахункова умовна кількісна складова корисної товарної продукції (*P*) могла б досягати 88–95% від маси використаної сировини. Замість існуючих на цей час 45% сировини доменне виробництво перевело б у відходи лише 5–10% сировини у вигляді «поки ще» тієї її частини, що не підлягає переробці. Зокрема, в такому реакторі можуть використовуватися високотемпературні електролітичні або хімічні (пов'язані з каталітичними процесами) джерела енергії. Так, їх ще потрібно розробляти, але «гра варта свічок». По суті, мова йде про методи (*W*) мінімізації відходів у джерелі їх появи, тобто в самому технологічному процесі. Приваблива ідея! Чи будуть сміливці?

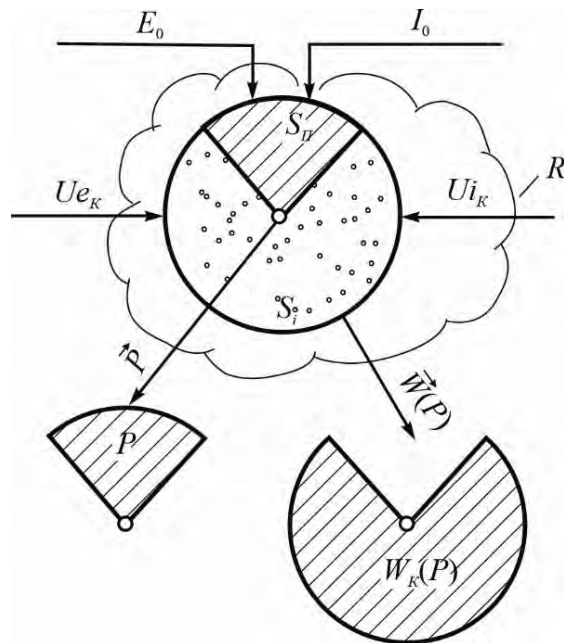


Рисунок 1.4 — Умовна схема k -кратного полімодального технологічного процесу.
(Позначення в тексті)

Ми залишаємося впевненими щодо того, що запропонована мультимодальна технологічна ідеологія буде прийнята не всіма. Тим більше, що реальних прикладів ще дуже мало. Комусь вона здається надуманою, хтось не погодиться з домікантою на полімодальні технології, вважаючи їх непотрібними, зайвими, враховуючи лише утилітарні завдання отримання безпосередніх корисних продуктів. Традиційні фахівці, технологи, основним завданням яких протягом багатьох років є вдосконалення існуючих технологій і доведення технологічних показників до рівня максимальної продуктивності, до максимального рівня якості основної продукції, побачать у цій ідеології блюзнірське втручання в традиційні технології.

Поспішаємо заспокоїти прихильників технологій паралельного виробництва як корисних продуктів, так і відходів. Незважаючи на існування вже шостого технологічного устрою в світі, велика частина товарної продукції і товарів народного споживання виготовляється за технологіями п'ятого, четвертого і навіть третього технологічних устроїв, а суспільство ще не навчилася ефективно справлятися з відходами хоча б в одному з існуючих технологічних устроїв, не навчилася мінімізувати їх до рівня, безпечного для навколишнього середовища. І якщо традиційні технології існують вже багато століть і навіть тисячоліть, і вони по суті відповідальні за забруднення навколишнього середовища сьогодні, то нові ідеології в технологічних устроях ще довго пробивати-

муться. Але за ними стоїть перспектива. Вона пов'язана з існуванням людства, і альтернативи їй бути не може. Принаймні для самих людей.

Таблиця 1.4 — Розрахункові дані щодо розподілу деяких компонентів сировинної бази доменного процесу між товарною продукцією і відходами, приведені до відносних кількісних показників товарного чавуну, %

Компоненти сировинної бази	Вміст у сировині	Традиційні технології		Полімодальні технології*	
		Продукція	Відхід	Продукція	Відхід
Залізо	16–72	60	–	60	–
Кремній	8–10 і більше	–	25–30	23–28	~2
Фосфор руди Коксовий фосфор	0,15 0,015–0,04	– –	0,1–0,25 0,03–0,05	0,15 0,01–0,04	– –
Коксовий вуглець	80–88	3–4	–	3–3,5	0,5
Сірка руди Сірка коксу	0,1–0,3 0,5–1,8	– –	0,11–0,25 0,05–0,10	0,2 –	– –
Миш'як	0,05–0,09	–	0,03–0,05	0,01–0,05	–
СаО вапняка SO ₂ вапняка	55 45	– –	3–4 2,5–3,0	~2 ~1	– –
Зола коксова	8–12	–	8–10	–	5–11
ВСЬОГО:	–	63–64	33,3–40,7	89,37–94,9	7,5–13,5

* — оціночні варіанти розподілу компонентів, задіяних у технологічному процесі, якщо в ньому присутні полімодальні технології.

1.3. Поняття і властивості матеріальних потоків утворення відходів

Істотним недоліком сучасних досліджень в області мінімізації утворення відходів є відсутність у роботах поняття відходів як матеріального потоку, що розглядається в рівноправному контексті інших матеріальних потоків, задіяних у виробничій системі. Це значно звужує ефективність і цінність результатів досліджень у галузі управління відходами. Зокрема, аналогічні дослідження в галузі економіки та фінансової діяльності, транспорту та інформатики показали свою доцільність і спроможні на нові результати в області управління матеріальними потоками.

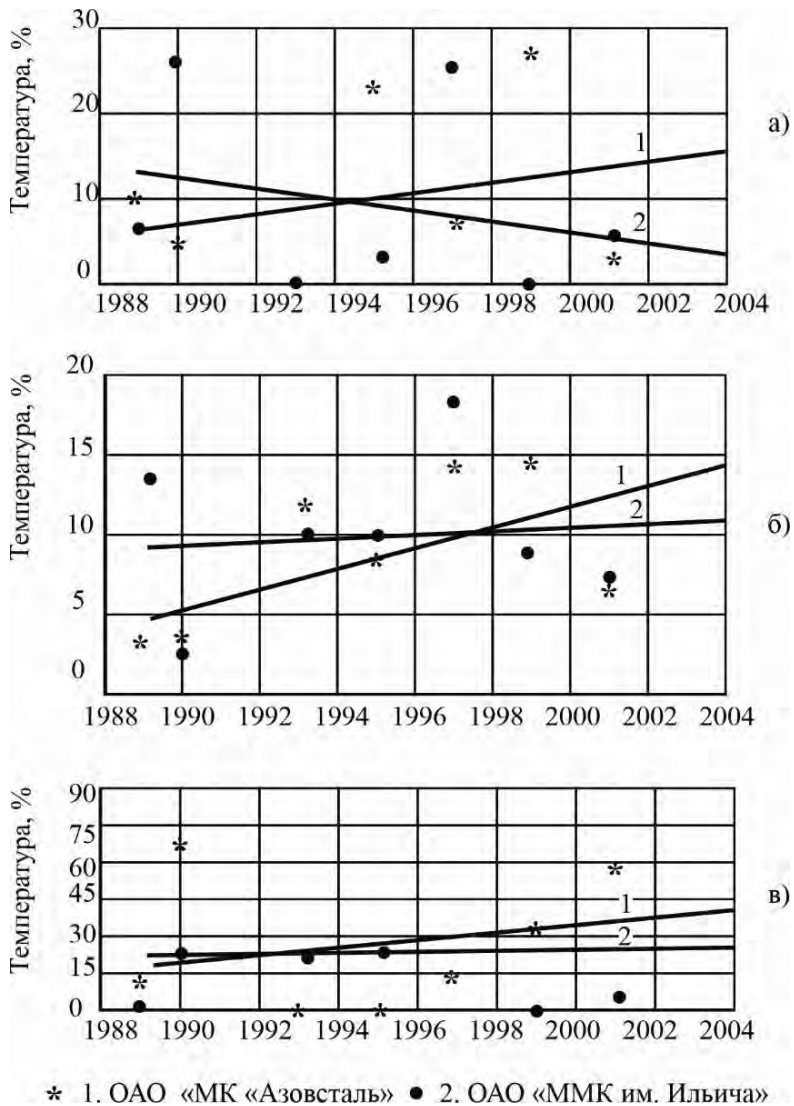
Давайте докладніше розглянемо цю проблему.

Щорічно з надр землі видобувається понад 100 млрд т мінеральної сировини, в тому числі 4 млрд т нафти, газу, 2 млрд т вугілля, понад 20 млрд т твердої мінеральної породи разом із рудами і розкривними породами. Більше половини цих екстрактів відправляється у відходи практично відразу в процесі переробки, збагачення. Решта у вигляді динамічних матеріальних потоків взаємодіє з іншими потоками матеріалів, енергією, і перетворюється в корисні продукти. Левова частка потоків видобутого і вже переробленого матеріалу розділяється і утилізується у відходах, як у процесі виробництва, так і в процесі експлуатації (продукти згоряння палива, продукти виробничого відторгнення, експлуатаційні відходи та ін.).

Всі ці втрати у вигляді відходів спочатку видобуваються з надр землі, де вони перебували в статичному компактному стані, потім у результаті діяльності людини переміщуються, взаємодіють один з одним, набувають нових властивостей і, як наслідок, накопичуються на поверхні землі (також у вигляді відходів), роблячи цю землю непридатною для відтворення. В результаті, 6–7 млн га ґрунту щорічно відчужується з землекористування. У таблиці 1.5 наведені деякі порівняльні дані, що відображають шкоду, заподіяну землі з боку окремих металургійних переробок, які можна порівняти з динамікою накопичення і переробки промислових відходів в аналогічних металургійних переробних галузях (рис. 1.5). Причому зростання цієї тенденції в залежності від відносного утворення відходів очевидне (рис. 1.6), що ще раз доводить еквівалентність всіх потоків матеріальних відходів у виробничих системах.

Таблиця 1.5 — Порівняльні дані щодо відчуження земельних ділянок для розміщення відходів виробництва в окремих видах металургійного виробництва

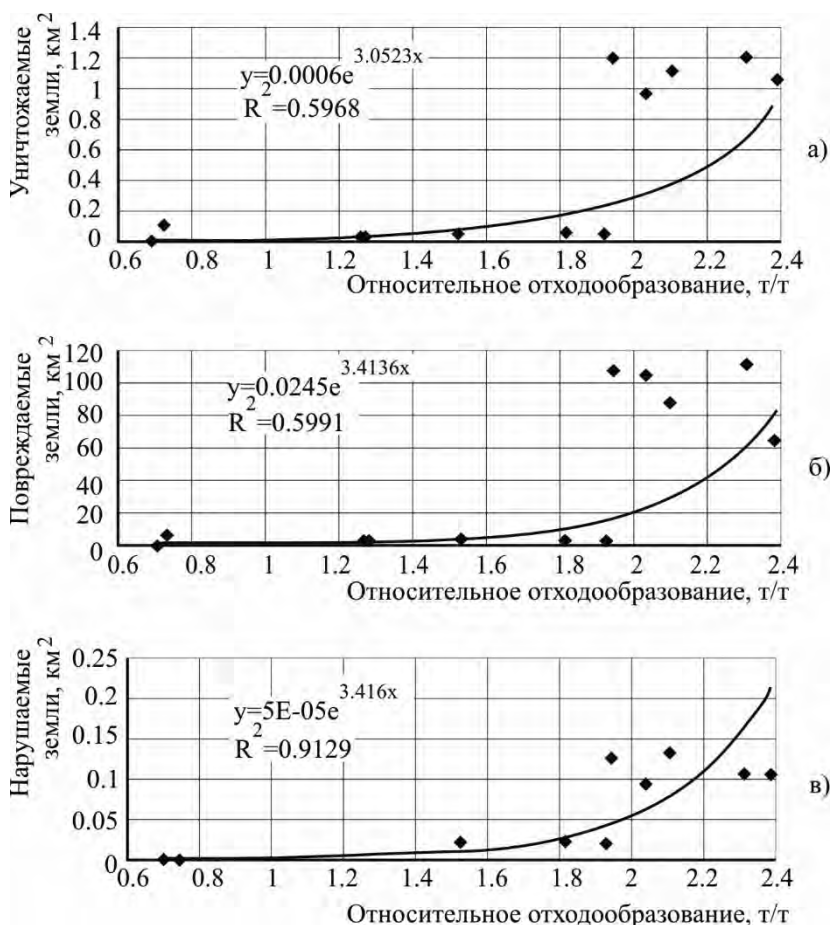
Найменування показників	Виробництво				
	Доменне	Сталеплавильне	Листовий прокат	Сталелітєйне	Прокатно-штампувальне
Обсяг виробництва основної продукції, тис. т	1698	2906	1294	673	15,4
Обсяг відходів, тис. т	4075	6728,1	1643	1294,9	19,34
Зруйновані землі, км ²	1,02	1,202	0,008	0,029	0,003
Пошкоджені землі, км ²	64,9	114,37	0,24	2,22	0,328
Порушена літосфера, км ³	0,11	0,106	0,0022	0,02	0,003



а) утворення відходів; б) накопичення відходів; в) переробка відходів

Рисунок 1.5 — Динаміка і прогноз виробництва, накопичення і переробки промислових відходів на металургійних комбінатах Азовського моря

Тому скажемо, що сучасне природне середовище виступає глобальною ємністю для скидання і зберігання відходів промислових і діяльності людини. Причому цей процес стає більш динамічним і безперервним. В першу чергу це пов'язано з тим, що все більша кількість галузей стає безперервними в часі і більш інтенсивними. На потік поставлені видобуток сировини та енергетичних ресурсів. На потік ставиться все більша кількість галузей промисловості.



а) зруйновані землі; б) пошкоджені землі; в) порушена літосфера

Рисунок 1.6 — Залежність стану земельних ресурсів від зростання відносного утворення відходів у металургії

Крім металургії, згадаймо автомобільні концерни, нафтопереробку, виробництво електроенергії, сучасну логістику товарних потоків і створення підприємств абсолютно нового типу — інтерпортів, логістичних центрів і спеціалізованих хабів, пов'язаних із систематизацією дрібнооптової продукції в потужні товарні потоки [65, 66, 67, 68].

Всі ці безперервні виробництва включають в себе ще один потужний потік — це потік відходів різної конфігурації і компонентності.

Таке твердження вимагає перегляду самого поняття «відхід» та зміни ставлення до поводження з відходами. Основні особливості формування структури потоків утворення відходів, пов'язані, зокрема, з інтенсивним відторгненням земельних ресурсів, потужними потоками переробленої сировини, потребою

у величезній кількості води, палива, кисню та інших витратних ресурсів, концентрацією населення на обмежених територіях. Все це сприяє різкому збільшенню сумарного тиску відходів всіх видів на навколишнє середовище. Розширення полігонів промислових відходів, а також гірничих відвалів, вступає в протиріччя з необхідністю розширення виробничих систем, вимагає нових підходів до промислової політики в сфері утворення відходів.

Значну роль у природних стабілізаційних процесах відіграє регенеративна здатність природного середовища. В даний час вже є розуміння того, що регенеративні здібності природи дуже великі, але не безмежні.

Природне середовище як джерело ресурсів і як «приймач» техногенних відходів по відношенню до виробничих систем довгий час було невід'ємною складовою процесу створення результатів людської праці. До тих пір, поки інтенсивність виробництва матеріальних благ була низькою, підтверджувалося рівноправ'я природних механізмів цієї участі. З гіперрозвитком систем суспільного виробництва природа випадає з виробничого простору, відчуваючи його згубний тотальний вплив.

З цієї точки зору показовим є досвід західноєвропейських країн, де загальна кількість відходів становить 2,2 млрд т на рік. З 120 млн т щорічних побутових відходів лише 29% використовується повторно. Витрати на вирішення економічних, соціальних та екологічних проблем, що виникають з цієї причини, обходяться країнам ЄС майже в 125 млрд доларів щорічно, приблизно 1000 доларів на тону перероблених відходів.

Подібні дослідження глобального рівня в літературі, на жаль, не дозволяють систематизувати більш глибокі причини, що призводять до утворення відходів. Однак вони можуть стати основою для більш ґрунтовних досліджень у цій області. Основними завданнями в даному випадку можуть бути:

- системний аналіз потоків утворення відходів у розрізі потоків ресурсів, задіяних у виробничому процесі;
- аналіз механізмів і закономірностей виникнення відходів у залежності від особливостей функціонування виробничих систем та їх складових;
- дослідження особливостей технології та методів переробки матеріальних потоків із позицій утворення відходів;
- дослідження активності властивостей матеріальних потоків, що беруть участь у виробничій системі.

Глибина і обсяг матеріалу при таких дослідженнях можуть бути нескінченними, тому дана робота, незважаючи на свою фундаментальну природу, не може претендувати на вичерпне висвітлення проблеми.

1.4. Особливості управління потоками відходів

Для того щоб оптимізувати управління процесом утворення відходів, у всій його складній структурі, необхідно виділити, перш за все, стратегічні функції мінімізації утворення відходів, обліку, планування і прогнозування розподілу відходів і створення на їх основі моделей сукупного і раціонального споживання ресурсів у рамках виробничої системи. До методів поводження з відходами також відносяться розміщення їх у відвалах і сховищах, депонування відходів, переробка, направлення в супутні виробництва, продаж на сторону.

Основні кількісні характеристики цього явища пов'язані з особливостями енергетичної обробки матеріалів, умовами формування структури сировинної бази виробництва, особливостями реалізації самої технології, якістю і ступенем зносу основного обладнання, рівнем технологічної культури. Опосередкованим показником може бути зміна рівня собівартості продукції.

У всьому різноманітті напрямків, пов'язаних з управлінням раціональним використанням ресурсів різного призначення, управління утворенням відходів і розподілом раніше накопичених відходів є найбільш актуальним і проблемним завданням. Причина в тому, що протягом всієї історії розвитку численних галузей та їх видів спостерігалися негативні тенденції, що взаємно підсилювалися:

- безперервне накопичення відходів (формування накопичуваних потоків утворених відходів) як зайвого компоненту в умовах зростання промислових потужностей та інтенсивності виробництва;

- відсутність ефективних методів ліквідації або знешкодження відходів у потоках накопичених матеріалів.

Слід зазначити, що важливим негативним результатом всієї попередньої діяльності людини є накопичення відходів на сьогоднішній день у кількості, що на кілька порядків перевищує загальне світове виробництво корисних продуктів. Для їх гіпотетичної переробки існуючими потужностями всіх світових виробництв знадобилося б не менше 60 років безперервної роботи за умови відсутності нового виробництва. А кошти на створення нових спеціалізованих переробних потужностей для ліквідації існуючих відходів сьогодні перевершать все, що йде сьогодні на розвиток світової промисловості. Тому сьогодні завдання позбавлення усіх відходів, накопичених людством, можна вважати реальністю лише умоглядно. Цей процес найчастіше спрямований по шляху позбавлення найнебезпечніших видів відходів. Також мають намір направити діяльність людства на такі технології, які мінімізують новостворені відходи і запобігають їх новому утворенню. Однак сьогодні існує дуже мало ефективних, за потужностями, технологій переробки всіх видів вироблених відходів. Тут очевидно, що інженерна і наукова думка відстає від того рівня, який має місце в системі технологічних виробництв основних видів продукції.

В цілому під науково обґрунтованим управлінням процесами ресурсозбереження і раціонального використання природних ресурсів у даному контексті слід розуміти вирішення завдання максимально можливого скорочення відходів як із числа вже утворених і оптимально розподілених раніше накопичених відходів, з урахуванням створеної для них споживчої цінності, так і отриманих безпосередньо в процесі утворення відходів. При цьому можливості поводження з відходами у виробничій системі найчастіше шукають у надсистемі, тобто в рамках міжгалузевих або територіальних об'єднань. Власні ресурси самої виробничої системи не розглядаються як об'єкт поводження з відходами. Контрольна функція в цьому випадку може мати адміністративне, економічне, аналітичне забезпечення.

Під адміністративним управлінням потоками відходів розуміється, зокрема, здійснення територіальної системи ресурсозбереження, включаючи територіальні нормативні обмеження, оптимізацію розподілу вторинних ресурсів, соціально-політичні програми за участю населення [69, 70]. Найбільш вдалий варіант адміністрування в сфері природокористування був досягнутий у США, де було створено раціональну фіскальну та адміністративну систему обмежень для підприємства та організації, що забруднюють навколишнє середовище. До адміністративних функцій природокористування відносяться, зокрема, встановлення граничних і діючих нормативів забруднення, угод між державними органами, які представляють інтереси всіх жителів території, з одного боку, і підприємств-забруднювачів, з другого боку.

Організаційно-правові методи підходу до управління елементами природокористування базуються на правовому регулюванні відносин у сфері природокористування та всебічному вивченні державних заходів і умов співіснування тих, хто забруднює навколишнє середовище, і тих, хто від нього страждає. У Сполучених Штатах Америки діє трирівнева система правового менеджменту — федеральне національне агентство, центральні агентства штатів і місцеві природоохоронні агентства. Перші з них відповідають за політику природоохоронної діяльності, визначають основні концептуальні напрямки. Другі визначають політику обмеження забруднення для всіх територіальних забруднювачів, займаються фіскальною діяльністю, а також стягують штрафи за перевищення зазначених норм. Місцеві органи здійснюють функції перевірки, контролю за діяльністю підприємств, здійснюють моніторинг можливих порушень у сфері забруднення навколишнього середовища в найрізноманітніших проявах.

В основі цієї багатоступеневої структури лежить вагома правова база у вигляді узгоджених федеральних законів і законів будь-якого штату. Більш того, розробки в сфері природоохоронного законодавства постійно вдосконалюються в плані не тільки посилення тиску щодо порушників, але і в плані стимулювання природоохоронної діяльності самими підприємствами-забруднювачами.

Прикладом можуть служити новітні закони «Про чисте повітря», «Про енергетичну політику», правоохоронні програми, зокрема, такі як «Автопарк чистого міста», «Малозабруднююче паливо» і т.д. З одного боку, вони вимагають від компаній робити додаткові витрати на природоохоронні заходи, з іншого — мають регульовану систему стимулюючих пільг по відношенню до тих виробників, які прагнуть дотримуватися нормативних вимог щодо забруднення навколишнього середовища. Тому правові методи охорони навколишнього середовища нерозривно пов'язані з економічними. Ті ж самі системи штрафів, диференційовані за різним ступенем забруднення, відносяться до економічних методів.

Економічні методи управління представляються як взаємодоповнюючі або альтернативні, спрямовані на підвищення ролі економічних показників у природоохоронній діяльності. Зокрема, до них відносяться: планування економії матеріальних ресурсів [29, 33, 71, 72, 73, 74], класифікація ресурсозберігаючих факторів (проектні, технологічні, організаційні), управління ціноутворенням і кредитуванням у регіоні, створення системи економічної відповідальності (платежі в бюджет, штрафи, пені) [15, 18, 20, 75, 76], регулювання заробітної плати [77]. Важливим важелем управління є планування використання вторинних матеріальних ресурсів, розробка і розміщення систем переробки і збуту, регулювання номенклатури вторинної сировини з метою мінімізації витрат, пов'язаних з обслуговуванням відходів [71, 78]. У формалізованому вигляді таку систему управління можна описати наступною моделлю:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & f(TU AU QU PU W) = \min; & 2) \quad & T = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V a_{stv} x_{stv}; \\
 3) \quad & A = \sum_{t=1}^T \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S h^a c_{ist}^a x_{ist}^a; & 4) \quad & Q = \sum_{t=1}^T \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q h^a c_{iqt}^a x_{iqt}^a; & (1.1) \\
 5) \quad & P = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P c_{spt} x_{spt}; & 6) \quad & W = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{w=1}^W k_{swt} e_{swt}.
 \end{aligned}$$

Тут позначення a, i, q, s, w, p, t — індекси відповідного виду відходів (за складом, приналежністю, ступенем розвитку підприємства, тривалістю періоду переробки); a — поточні витрати на виробництво тони продукції; h^a — коефіцієнт обліку впливу транспортних витрат при транспортуванні відходів a -го типу; c — питомі приведені одиниці транспортних витрат; k — капітальні вкладення в розвиток підприємства; x — обсяги перевалки вторинної сировини; e — оператор комутації (булева змінна).

Потреби споживачів Q -сторонніх галузей промисловості R_{qt} повинні задовольнятися за рахунок поставок вторинних ресурсів підприємства, що розглядається:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^A x_{ipt}^a \geq R_{qt}, \quad q = 1, 1, Q, \quad t = 1, 1, T. \quad (1.2)$$

Загальна витрата вторинних ресурсів на виробництво кінцевої продукції обмежена пропускнуою здатністю даного виробництва.

$$\sum \sum r_{sw}^{\lambda} x_{svt} \leq D_t^{\lambda}, \quad t = 1, 1, T, \quad \lambda \in \Lambda, \quad (1.3)$$

де r — норма витрати певного ресурсу на виробництво кінцевого продукту;

D — загальний обсяг даного ресурсу, що виділяється в галузі виробництва кінцевого продукту.

Модель враховує певний варіант розвитку підприємства.

Оптимальне рішення знаходиться шляхом аналізу ефективності сукупних варіантів розвитку виробничої системи за цими групами факторів.

Японська економічна система дозволяє підприємствам реалізувати можливість часткового звільнення від непродуктивних витрат на природоохоронну діяльність завдяки тому, що державна система має можливість здійснювати самостійне цільове фінансування цієї діяльності шляхом перерозподілу національного доходу з пріоритетом на природоохоронну діяльність і, в свою чергу, використовувати важелі фінансово-економічного впливу, змушує приватні фірми займатися такою діяльністю. Зокрема, держава ввела правило про прив'язку розміру прибутку компанії до викидів у навколишнє середовище. Механізм такої координації наступний. На початковому етапі визначається відносний рівень того чи іншого виду забруднень

$$\varepsilon = \frac{P}{S}, \quad (1.4)$$

де P — планове значення концентрації забруднюючої речовини (гранично допустиме значення);

S — фактичне значення концентрації забруднюючої речовини.

Якщо $\varepsilon < 1$, це означає, що викиди перевищені по відношенню до встановлених для даного підприємства. Стан $\varepsilon = 1$ означає, що підприємство дотримується доведених до нього норм викидів, а умова $\varepsilon > 1$ означає, що підприємство зберігає власні викиди нижче запланованих.

Тоді значення коефіцієнта економічної вигоди (k) визначається за наступним алгоритмом:

– якщо $\varepsilon < 1$, то $k = \lg \frac{\varepsilon}{2} + 1$. При цьому додатковий прибуток зменшується на суму $\Delta\Pi = \Pi_0(k - 1)$;

- якщо $\varepsilon = 1$ і $k = 1$, то $\Pi = 0$;
- у разі дотримання нормативу, тобто $\varepsilon > 1$ маємо $k = \lg \varepsilon - 1$.

При цьому додатковий прибуток $\Pi = \Pi_0 \lg \varepsilon$ буде включати кошти, які були витрачені на природоохоронні заходи.

Безумовно, остання практика довела, що економічні важелі впливу на техногенні процеси і стимулювання природоохоронної діяльності є найкращими і найефективнішими. Механізм і критеріальна основа такого управління сумнівна. Наведемо приклад.

Виходячи із замкнутості циклів використання матеріальних потоків, у таких методах передбачається, що необхідно враховувати різницю між первинною масою сировини і виробничою базою (читай, облік утворення відходів) [14]. Оскільки відходи при певних умовах можуть мати ранг потенційної сировини для даного виробництва, пропонується фіксувати цю різницю в бухгалтерських документах. Тоді схема, що відображає циклічність матеріальних потоків у рамках конкретного виробничого процесу, може мати, наприклад, наступний вигляд (рис. 1.7).

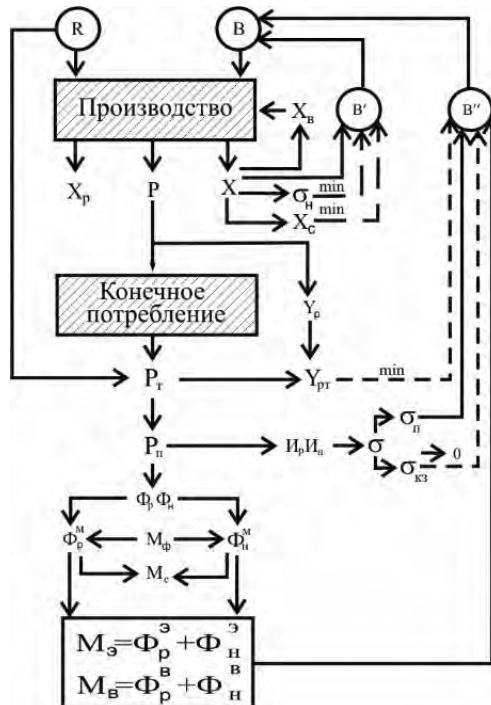


Рисунок 1.7 — Структурна схема взаємозв'язку між циклами руху ресурсної маси у виробничій системі

Ось позначення:

R — первинна фізична маса всіх ресурсів;

B — фізична маса потенційних вторинних ресурсів (відходів виробництва B' і споживання B'');

P — маса виготовлених виробів;

P_T — маса продуктів вторинного споживання;

P_r — натуральна маса продуктів на етапі споживання;

X — частина матеріального потоку, яка не входить до складу товарного продукту, включаючи природні ресурси, відходи виробництва;

σ_H — нейтральні відходи, що повертаються в навколишнє середовище;

X_C — остаточно невикористана частина ресурсів, повернута в навколишнє середовище;

X_B — відходи, повернуті в технологічний процес;

X_P — неминучі виробничі втрати;

Y_P — втрати продукції перед надходженням у сферу споживання;

P_{II} — фактично спожиті продукти;

σ — відходи кінцевого використання;

σ_{II} — побутові відходи, які є потенційною сировиною;

$\sigma_{к.з.}$ — комунальні відходи, невикористані;

Y_{PT} — втрата ресурсів на шляху від виробника до споживача;

M_Φ — матеріальний фонд, накопичений в експлуатації;

M_C — втрати матеріальних ресурсів в процесі експлуатації (післяексплуатаційні відходи);

M_Ω — частина матеріального фонду в експлуатації;

M_B — списана частина матеріального фонду;

Φ_P — виробництво засобів виробництва;

Φ_H — довгострокові вироби особистого користування;

Φ_P^M — Φ_H^M — матеріальний фонд загальногосподарського та особистого користування;

Φ_P^B — Φ_P^M — матеріальний фонд, що підлягає виведенню з експлуатації;

I_P — I_H — промислові матеріали загальногосподарського та особистого користування.

Основна спрямованість потоків утворення відходів у такій системі відноситься до зворотної функції (B) матеріальних вторинних ресурсів того ж виробництва. Функція $B(\max)$ складається з двох компонентів, один з яких (показаний на рисунку 1.7)

$$B'' = \cup(M_\Omega, M_B) = \sigma_{II} + \sigma_{к.з.} + (Y_{PT} \subset Y) \quad (1.5)$$

не викликає сумнівів. Обґрунтування реальності двох інших функцій, а саме:

$$X_B, \varphi(x) \text{ и } B' = X_C + \sigma_{II} + (x_i \subset X) \quad (1.6)$$

є проблематичним, оскільки в них не враховується реальний механізм утворення відходів у рамках даного виробничого процесу. Зокрема, можна показати, що повернення прямих відходів X_B у власний технологічний процес стикається зі значними труднощами, оскільки, згідно з другим законом термодинаміки, в перспективі робить цей процес повністю відходоутворюючим (про це нижче).

Незнання закономірностей утворення відходів призводить до ще однієї суттєвої помилки при використанні такої моделі для управління процесом утворення відходів, а саме. Другий компонент відходів кінцевого споживання $\sigma = \sigma_{II} + \sigma_{к.з.}$, що повертаються на це виробництво як вторинна сировина (див. рис. 1.4), не може бути використаний у повному обсязі з наступної причини: в значній мірі відходи кінцевого використання розкидані в просторово-часовому діапазоні. Витрати на їх концентрацію, практично всі без винятку, перевищують собівартість власного виробництва [79].

Таким чином, найголовнішим недоліком цих методів є відсутність у них дій, що враховують механізм і характер явища утворення відходів у виробничих системах. З цієї точки зору проблематичним є не тільки невдале адміністрування як метод поводження з відходами, а й деякі методи економічного регулювання.

Спробою усунення цього недоліку є створення аналітичних методів управління на основі математичних моделей ресурсозбереження та природокористування [80, 81, 82, 83, 84, 85, 86]. Такі моделі можуть базуватися на процесах генерації, накопичення, розподілу та руху матеріальних ресурсів системи на основі відходів.

Якщо проаналізувати регресійно-імовірнісні моделі екосистем з точки зору ефективності функцій управління утворенням відходів і розподілом накопичених відходів [26, 87, 88, 89, 90, 91], то можна зробити висновок, що прогнозні рішення, що приймаються з їх допомогою, недостатньо однозначні. Це стосується в першу чергу обмежених можливостей екстраполяції регресійних моделей, побудованих за принципом сигналів кібернетичної «чорної скриньки».

Структурні та інформаційно-теоретичні моделі управління ресурсозбереження [92] засновані на загальному твердженні про те, що кожна з наступних функцій виробничої системи здійснюється для досягнення узагальненої мети. Така передумова розглядається як етап деякої ієрархічно визначеної ефективної діяльності, наприклад, інформаційного пошуку, формалізованого аналізу і прийняття рішень, а також логічного обґрунтування отриманих результатів. Вони побудовані на основі типових блоків з відомими імовірнісними характеристиками, що представлені в загальному вигляді на рівні функцій математичного очікування і дисперсії. В узагальненому випадку такі моделі мають вигляд

$$t_p = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^N M_i, \quad (1.7)$$

де t_p — загальна тривалість виробничого процесу;

R — пропускна здатність системи;

M_i — відповідний матеріальний потік, що підлягає обробці у виробничій системі.

Ще ближче до розуміння і відображення природи і механізму утворення відходів знаходяться так звані функціонально-системні моделі [93, 94], побудовані на основі формалізованого графа діяльності $G\{G^o; G'\}$, де сукупні проміжні стани системи або окремі її якості представляються у вигляді вершин $G^o = \{\alpha_{ij}\}$, а ребра графа $G' = \{\alpha_{i-1}, \alpha_j\}$ представляються у вигляді сукупності функцій — системних операторів. Під функціями системи розуміють різноманітні фізичні та інші явища, які сприяють досягненню необхідних перетворень елементів системи з одного якісного стану в інший. Важливими особливостями таких моделей з позицій системного управління є:

– можливість формування послідовності ієрархічно підпорядкованих функцій, що відображають механізм і характер явища утворення відходів у виробничій системі;

– можливість внутрішнього обліку матеріалів, яка виражається у формуванні замкнутих функціональних контурів у вершинах графа.

Кожен з перерахованих вище способів має безперечні переваги і недоліки, що визначають можливості і спектр застосування в якості інструменту управління матеріальними ресурсами і, зокрема, ресурсами утворення відходів.

Як приклад розглянемо використання балансових ресурсно-еколого-економічних моделей [95]. Основне рівняння балансу, що відображає співвідношення основних матеріальних потоків у системі,

$$\Theta x(t, i, j) = A_n x(t, i, j) + Bx^\alpha(t, i, j) + p(t), \quad (1.8)$$

де $\Theta(s, n)$ — матриця приналежності i -ої технології до j -ої галузі ($i = 1, 1, S$ і $j = 1, 1, N$);

$x(t)$ — s -вимірний вектор матеріального потоку виробничої бази в момент часу t ;

A_n і B — матриці витрат на формування сировинної і виробничої бази відповідно;

$p(t)$ — кінцевий об'єм продукції, що споживається.

Баланс вторинних матеріальних потоків

$$A^b x(t, i, j) + B^b x^\alpha(i, j) + F_p(t) = y(t, i, j), \quad (1.9)$$

де A^b і B^b — матриці матеріальних потоків вторинних ресурсів, що використовуються в технології i , які утворюються у вигляді відходів в j -й галузі промисловості;

F_p — матриця матеріальних потоків виробничої бази j -ої галузі промисловості.

Динаміка зміни матеріальних потоків утворення відходів

$$Y^\alpha(t, i) = y(t, i) - \alpha Y(t, i), \quad (1.10)$$

де α — діагональна матриця коефіцієнтів α_j , що відображають втрати відходів при накопиченні і переробці.

Вектор матеріальних потоків сировинної бази в моделі представлений рівнянням

$$R^\alpha(t) = Q[R(t) - R^*] - A^p x(t), \quad (1.11)$$

де $R(t)$ — запас деякої сировини;

Q — матриця коефіцієнтів, що відображає зміну i -го ресурсу при одиничному відхиленні природного k -го ресурсу від незбуреного (натурального) стану R^* ;

A^p — матриця витрат сировини на виробництво різної продукції.

У такій моделі передбачається, що всі витрати, що пов'язані з підготовкою відходів виробництва до використання в якості вторинних матеріальних потоків, враховуються матрицею A^p , яка, в свою чергу, залежить від продуктивності j -ої технології (галузі), тобто від A^p . Керуючим впливом у таких моделях є інтенсивність виробництва та інтенсивність капітальних вкладень, в тому числі в підготовку відходів виробництва. Критеріями оптимізації можуть бути: показники максимальної продуктивності при мінімальних прямих витратах і максимальному збереженні природних ресурсів (читай, структура сировинної бази).

Тут важливо припустити, що механізм утворення відходів пов'язаний із продуктивністю технології [95]. Однак характер цієї залежності не відображається в математичній моделі, що характеризує її як явно недостатню. Тому результати досліджень з використанням балансової ресурсно-еколого-економічної та деяких інших моделей мають носити оціночний характер і не дозволяють здійснювати стале управління процесом утворення і розподілу накопичених відходів у певній галузі промисловості, про що свідчать результати досліджень [96, 97, 98, 99, 100].

При дослідженні математичних моделей ресурсозбереження як інструменту управління утворенням відходів і розподілом накопичених відходів велика увага приділяється створенню достовірних баз даних і систематизації великих інформаційних масивів, які дозволяють мати якісні характеристики елементів матеріальних потоків, задіяних у виробничому процесі [101]. Джерелами для створення таких баз даних є показники технологічного, економічного та екологічного обліку. Безсумнівний плюс мають ті бази даних, в яких систематизовані всі три області рахункової документації.

В цілому математичні моделі поки не надали дослідникам надійних інструментів, здатних вивести саму ідею поводження з відходами на реальний управлінський рівень [95, 99, 100, 101, 102, 103]. Проте ці дослідження можуть дати певні конкретні результати для подальшого розвитку, які, втім, не варто перебільшувати. Тому що сама ідея поводження з відходами може виявитися другорядною, якщо навчитися мінімізувати їх утворення і навчитися створювати технології п'ятого і більш високих технологічних устроїв, які матимуть зовсім інше відношення до явища утворення відходів. Принаймні, передумови для цього вже існують [104].

ГЛАВА 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕСИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ

-
-
- 2.1. Експериментальні дослідження процесів утворення відходів
 - 2.2. Досвід впровадження підходів до вирішення проблеми мінімізації відходів у джерелі походження
 - 2.3. Особливості утворення відходів при використанні тарно-пакувальних матеріалів, одноразових предметів та витратних матеріалів
-
-

Сучасне бачення проблеми про властивості відходів існує багато в чому завдяки вузьким знанням в області утворення відходів, і це пов'язано з цілком специфічними виробничими процесами. Як правило, такі властивості проявляються при дослідженні відходів у зв'язку з потребами виробництва основного продукту і не можуть претендувати на роль узагальнюючих закономірностей.

Щоб звернути увагу на справжні механізми утворення відходів і відобразити їх у властивостях відходів, розглянемо найпростіший технологічний процес в ієрархії його розвитку.

2.1. Експериментальні дослідження процесів утворення відходів

Дослідженню підлягає технологія отримання концентрованого розчину кухонної солі із заданим вмістом розчинної речовини. Такі технології мають місце, наприклад, у харчовому виробництві. На такому простому прикладі розглянемо механізм утворення відходів на основних етапах технологічного процесу.

Дослідження на етапі розробки нової технології такі.

У початковому викладі кухонну сіль (NaCl) розчиняють у воді, послідовно нагрітій до 35 °С. Щоб уникнути непередбачених супутніх реакцій, початковий метод створення розчину заданої концентрації передбачає використання

хімічно чистої мінеральної натрієвої солі в кристалічному стані, а також дистильованої води в закритій чистій скляній посудині (рис. 2.1). Характеристики сировинної бази, таким чином, представлені в таблиці 2.1.

Відходами вважаються тільки втрати енергії у вигляді тепла, витраченого на нагрівання розчину, і втрати з водою, що випаровується. Інших відходів у технології не передбачається.

Загальна жорсткість води, що характеризується насамперед наявністю у воді іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} , визначається як

$$g = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} = \frac{2}{20} + \frac{2}{12} = 0,26$$

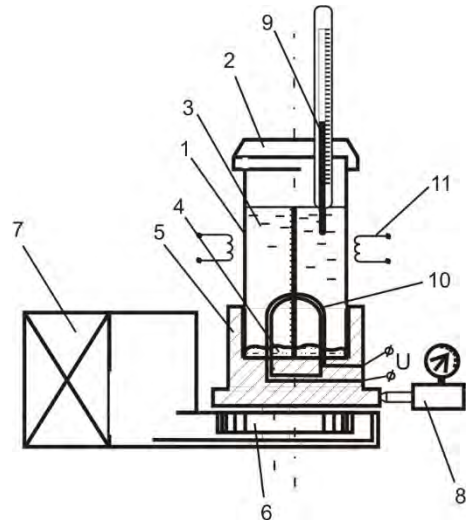
Продукцією системи є іонізована сполука асоційованих іонів Na^{+} , Cl^{-} , SO_4^{2-} у вигляді іонної оболонки навколо поляризованих молекул води. Масова характеристика іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} настільки незначна, що не дає підстав для утворення відходів у вигляді осаду.

Насичення розчину при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ досягається при вмісті NaCl у воді до 26 г на 100 мл . Розчинність вище цього значення залежить від температури наступним чином:

$$F(t) = 26,3 + 0,003 t, \text{ г/100 мл H}_2\text{O}$$

в інтервалі температур $t=0\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому така залежність не є домінуючою. Наприклад, при збільшенні кількості солі на $9,0\text{ г}$ при температурі $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ насиченість складе приблизно 28 г на 100 мл води. Кількість NaCl вище цього значення при даній температурі не розчиняється у воді і в даній умовній технології може мати властивість відходу, який залишається, наприклад, після фільтрації насиченого розчину кухонної солі.

Відразу зробимо попередній, але очевидний висновок про те, що безпосередньою причиною утворення відходів у деякому узагальненні може бути надмірний вміст окремих компонентів сировинної бази, задіяної в технологічному процесі. В першу чергу це стосується нерівноважних хімічних реакцій.



- 1 – робоче скло; 2 – кришка; 3 – розчинник; 4 – розчинна речовина; 5 – вібростійка; 6 – вібратор; 7 – електропривод; 8 – індукційний віброграф; 9 – термометр; 10 – тепловий нагрівач; 11 – електромагнітний індуктор

Рисунок 2.1 — Установка для дослідження механізму утворення відходів

Таблиця 2.1 — Характеристика сировинної бази виробничої системи отримання сольового розчину

№	Технічні показники В експерименті	Вода		Сіль		
		В техно- логії	В експери- менті	В техно- логії	В експери- менті	
1	Водневий показник, рН	6,7	–	–	–	
2	Загальна жорсткість, мг·екв/л	0,25	20,0	–	–	
3	Нерозчинений сухий залишок, %	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-2}$	
4	Вміст сульфатів (SO_4^{2-}), мг/л	60	500	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^2$	
5	Вміст хлоридів (Cl^-), мг/л	10	60	см. п. 9	см. п. 9	
6	Вміст нітратів (NO_3), мг/л	–	$6 \cdot 10^{-5}$	–	–	
7	Вміст металів, мг/л (мг/кг – для солі)	Fe	–	0,9	3,0	11
		Al	–	0,9	–	–
		Pb	–	0,07	–	–
		Sr	–	3,0	–	–
		As	–	0,1	–	–
8	Помутніння за стандартною шкалою, мг/л	–	1,0	–	–	
9	Масова частка NaCl, %	–	–	99,8	97,0	
10	Масова частка Ca^{2+} , %	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	
11	Масова частка Mg^{2+} , %	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$0,7 \cdot 10^{-1}$	
12	Масова частка K^+ , %	–	–	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	
13	Масова частка HCl, %	–	0,03	–	–	
14	Крупність солі (%), <0,8 мм 0,8 – 1,2 мм	–	–	75	70	
		–	–	25	10	

Трохи відійдемо від нашого експерименту. Наочною ілюстрацією цього очевидного висновку є процес десульфуратії сталі шляхом впорскування кальцію в сталевий ківш (рис. 2.2).

При впорскуванні кальцію САВ-процесом у кількості 1–3,4 кг/т сталі в 125-тонний ківш ступінь десульфуратії сталі досягає майже 90 % при кінцевому вмісті сірки 0,003 %. При цьому майже 30 % CaSi 12 % суміші (CaO + флюси) або 10 % CaC₂, в залежності від якості порошку, що надходить, переходить у відходи у вигляді неповністю прореагованого компоненту і видутого пилу. При обробці ковшу рідким синтетичним шлаком за методом Точинського-Перрена (шлак містить CaO + Al₂O₃ при високій активності FeO), частка відходів непрореагованої шлакової фази досягає 35–40 % від початкової кількості, яка

також направляється у відходи. Більш того, зі збільшенням витрати десульфуратора й очікуваного ступеня десульфурації (в залежності від швидкості впорскування) втрати цього матеріалу збільшуються. Істотне значення тут має роль самої структури реагуючого компонента. Наприклад, при введенні силікокальцію іони Si^{2-} автоматично переносяться в шлак-ківш, який найчастіше має високу основність. А при введенні карбиду кальцію включений вуглець частково залишається в металі.

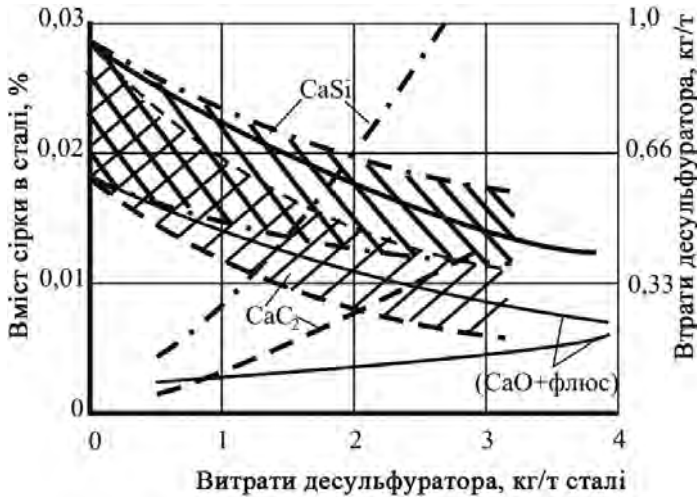


Рисунок 2.2 — Ступені десульфурації та рівень утворюючих відходів при впорскуванні різних десульфураторів

Питома вага введених матеріалів при десульфурації і тієї частини, яка потрапляє в відходи, представлені в таблиці 2.2. Слід зазначити, що при високій швидкості впорскування, можлива ситуація, коли до 70 % десульфуратора не вступить в реакцію і піде в шлак або газ.

Таблиця 2.2 — Показники технологічної витрати і втрат кальцію при десульфурації сталі шляхом впорскування порошків

Заданий ступінь десульфурації	Десульфуратор – карбід кальцію (CaC_2)		Десульфуратор – силікокальцій ($CaSi$)	
	Витрати, кг/т	Відходи, кг/т	Витрати, кг/т	Відходи, кг/т
0,55	0,4	0,041	0,4	0,13
0,70	0,7	0,062	0,8	0,22
0,90	1,15	0,105	1,15	0,36
0,90	2,7	0,31	2,7	0,97

Однак повернемося до нашого водного розчину.

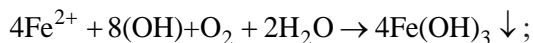
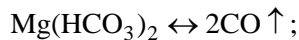
На етапі впровадження технології в промислових масштабах виникають такі відхилення від плану.

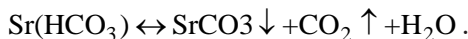
1. Промислова сировинна база, як правило, має деякі відхилення від планового складу (табл. 2.3). Замість чистої мінеральної солі заданого складу (ДСТУ 13830-97) необхідно використовувати продукт промислового виробництва, склад якого відрізняється від зазначеного додатковими мінеральними включеннями, в тому числі нерозчинними у воді.

Таблиця 2.3 — Основні характеристики технологічних процесів отримання концентрованого сольового розчину

№	Засоби впливу	Найменування параметрів					
		Споживана потужність, кВт	Частота впливу, Гц	Амплітуда, мм	Температура (діапазон), °С	Споживання енергії, кДж	Тривалість процесу, хв.
1	ТН	0,4	–	–	20 – 80	288	12,0
2	ЕМН	0,1	–	–	20 – 80	60,0	10,0
3	ВЗ	0,08	0,7 – 5,0	3,0	20	17,3	3,6
4	УЗ	0,06	...	...	20 – 40	64,8	18,0
5	ТН+ВЗ	0,48	0,7 – 5,0	3,0	20 – 70	80,6	2,8
6	ЕМН+ВЗ	0,18	0,7 – 5,0	–	20 – 60	27,0	2,5
7	УЗ+ВЗ	0,14	(...) 0,7 – 5,0	(...) 3,0	20 – 35	16,8	2,0
8	ТН+УЗ	0,46	...	...	20 – 80	151,8	5,5
9	ТН+УЗ+ВЗ	0,54	(...) 0,7 – 5,0	(...) 3,0	20 – 60	55,2	2,0

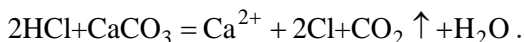
Технічна вода має певну високу жорсткість, багато компонентів мінерального складу здатні вступати в реакцію з вихідною сіллю та її включеннями з утворенням нових фаз — нерозчинних осадів, CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, SrCO_3 і газових викидів (CO_2).





В результаті концентрованої сольовий розчин, як сировина, має дещо інший хімічний склад у порівнянні з лабораторним експериментом. Він містить лужно-сольові нерозчинні осади, накип у вигляді $\text{CaCO}_3, \text{Mg}(\text{OH})_2, \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (близько 25 % осідання), вуглекислого газу, які по суті є незапланованими відходами даного виробництва.

Оскільки вода може містити сліди соляної кислоти, утворюються також залишки іонів наступного складу:



Особливістю даного етапу технології є здійснення незапланованих хімічних перетворень, які відбуваються тільки завдяки наявності сторонніх компонентів у сировинній базі виробничої системи. Тому зробимо другий попередній, але теж очевидний висновок про те, що **структура сировинної бази, її відповідність вимогам технологічного процесу є одним з найважливіших факторів, що впливають на механізм утворення відходів у виробничій системі.**

2. В процесі експлуатації ця технологія може піддаватися постійному вдосконаленню, метою якого практично завжди є підвищення економічності та продуктивності виробництва кінцевої продукції. Наприклад, щоб збільшити швидкість розчинення, замість термічного можна запропонувати електромагнітний нагрів. Інтенсивність і економічність розчинення солей у цьому випадку збільшуються. Цей ефект пов'язаний, перш за все, з появою у воді центрів електромагнітного впливу, якими можуть бути іони металів, найдрібніші зважені частинки в самій воді. Тут заздалегідь планується відхилення від початкової технології, наслідком якого стане незапланований відхід — коагульовані нерозчинні зважені частинки. Таким чином, при навмисному забезпеченні підвищення економічної ефективності технологічного процесу відбувається очевидне збільшення частки відходів, які не були передбачені в лабораторних умовах.

В рамках розвитку технологічного процесу існує принципова можливість зниження впливу нерозчинних частинок у розчині. Наприклад, це можливо за допомогою ультразвукового генератора спрямованої дії. Результатом такого впливу є більш значна коагуляція й осадження таких частинок. Параметри ультразвукового генератора налаштовані на резонансну частоту зважених частинок і не сприяють розчиненню основної маси солі. Цей метод не дає покращення якості розчину, жодним чином не знижує його собівартості і не інтенсифікує основний процес розчинення NaCl .

В якості методу інтенсифікації розчинення також може використовуватися один із відомих фізичних впливів: тепловий нагрів (ТН); мікрохвильове нагрівання (ЕМН); вібраційне змішування (ВЗ); ультразвуковий вплив (УЗ).

В якості інструментів для забезпечення перемішування в установці (див. рис. 2.1) передбачені: тепловий нагрівач ТЕН-2000; побутова мікрохвильова піч; вібраційна платформа із заданим режимом вібрації (амплітуда вібрацій, частота), а також ультразвуковий генератор УЗГ-025. Контроль параметрів віброплатформи здійснюється за допомогою індуктивного перетворювача переміщення IPS-33. Температура в зоні реакції в діапазоні 20–80°C контролюється спиртовим термометром. Обсяг отриманого розчину дорівнює 1 л. Стандартна кількість NaCl у розчині 550 г. Нерозчинена частина NaCl, а також тверді суспензії, осад, розчин з великою кількістю неосажденої суспензії будуть вважатися відходами даного виробництва. Концентрація розчину контролюється випаровуванням.

В якості розчинника в промисловій технології послідовно використовується: дистильована вода, технічна вода; технічна слабо підкислена вода (концентрація HCl 0,01–0,03 % водного розчину). Основні показники, що забезпечують кінцевий результат, наведені в таблицях 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.4 — Основні параметри матеріальних потоків у сформованих технологіях

№	Назва показників	Значення параметра	
		В експерименті	На промисловій установці
1	Характеристика сировинної бази: – об'єм дистиляту, л; – кількість кухонної солі, кг; – енергоспоживання, кВт·год/цикл	1,0 0,55 0,03*	9000 4500 88,0**
2	Кількість продукту, отриманого одноразово, кг	1,43	13100
3	Характеристика бази відходів: – невикористаний сольовий залишок, кг; – нерозчинний залишок, кг; – водяна пара, кг; – втрати теплової енергії, кДж/цикл	0,08 – 0,1 – 0,02 –	280 – 300 45 – 47 10 – 76 54,0

* — енерговитрати на роботу вібраційної платформи;

** — енерговитрати на роботу вібраційної платформи і нагрів води.

В результаті ми отримали ряд технологічних процесів, адекватних за досягнутим результатом, задану сировинну базу, послідовність виробничих опе-

рацій, готову продукцію у вигляді концентрованого сольового розчину і базу відходів змінного складу.

В якості найбільш ефективних способів розглянемо отримання насиченого розчину кухонної солі шляхом:

- а) електромагнітного нагріву з одночасним вібраційним змішуванням;
- б) вібраційного змішування з одночасним ультразвуковим впливом.

Нормальна тривалість технологічного процесу при використанні даних методів розчинення становить 2,5 і 2,0 хвилини відповідно, витрати енергії становлять 27,0 і 16,8 кДж. Перша технологія передбачає чисто фізичний характер впливу на компоненти сировинної бази. У другій технології передбачені нові ефекти — коагуляція нерозчинних частинок і їх осадження.

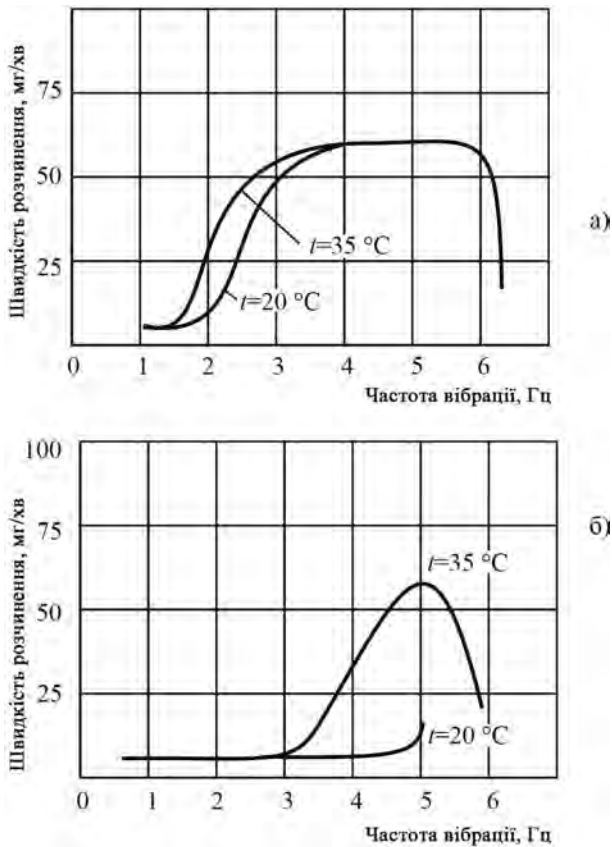


Рисунок 2.3 — Вплив основних технологічних параметрів процесу вібраційного змішування та ультразвукового нагріву на інтенсивність виробництва корисної продукції (а) і утворення відходів (б)

Характер впливу параметрів технологічного процесу на інтенсивність виробництва як у першому, так і в другому випадку майже адекватний (рис. 2.3, а і 2.4, а).

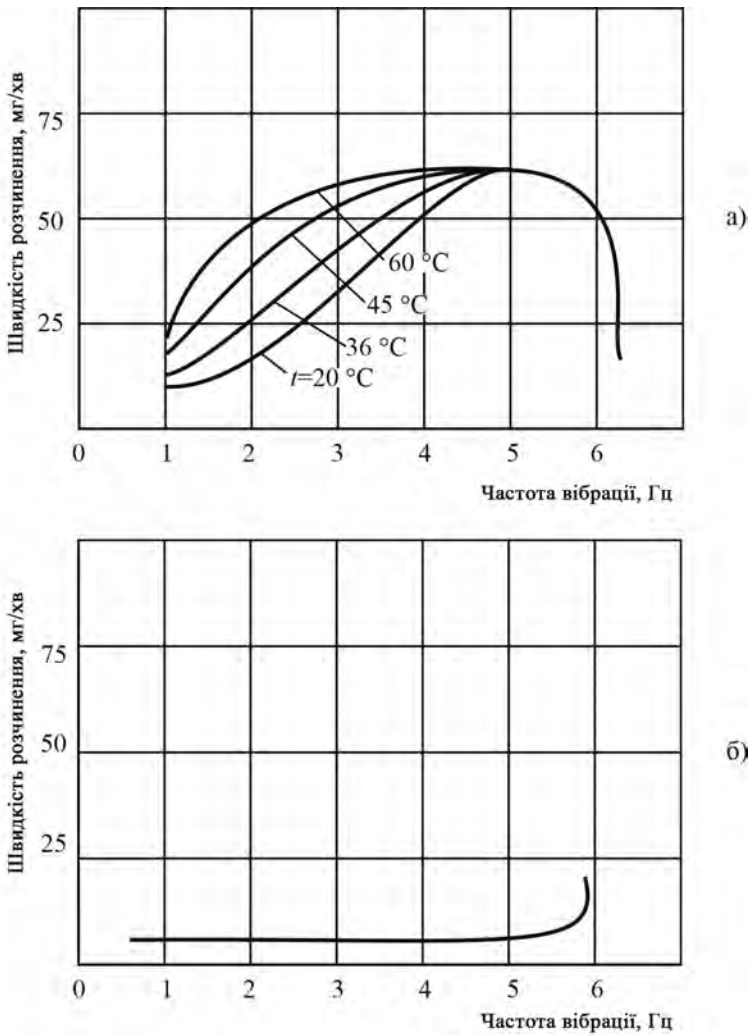
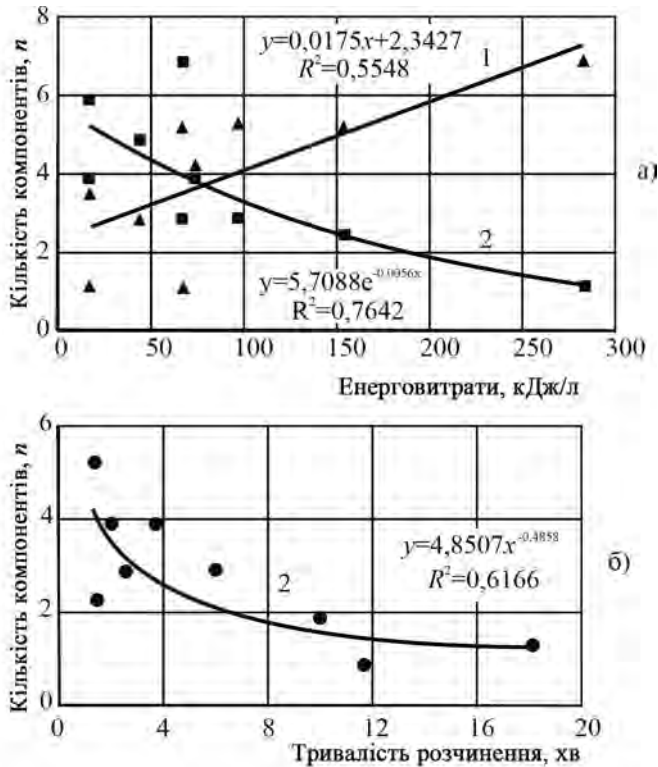


Рисунок 2.4 — Вплив основних технологічних параметрів процесу вібраційного змішування та електромагнітного нагріву на інтенсивність виробництва корисної продукції (а) і утворення відходів (б)

Інтенсивність утворення відходів, а точніше, рівень пасивності супутніх компонентів сировинної бази, сильно відрізняється для двох розглянутих технологій. В однакових координатах (див. рис. 2.3, б і 2.4, б) в першому випадку ми не бачимо збільшення активації компонентів бази відходів — Ca^+ , Mg^+ , елементів твердого осаду. Активація збільшується у вузькому діапазоні частоти вібраційного змішування в поєднанні з ультразвуковим впливом. Спостерігається різкий спад в утворенні відходів за рахунок осадження зважених частинок і освітлення води (перехід розчину зі суспензії, що відноситься до

відходів, в категорію продукту — чистий розчин) з більш високою інтенсивністю виробництва. Звичайно, це особливий випадок. Серед дев'яти розглянутих технологій можна виділити ті, які мають менше утворення відходів, що, втім, досягається за рахунок збільшення прямого споживання енергії (табл. 2.3).

Пряме споживання енергії в технологічному процесі та ефект утворення відходів мають тісну кореляцію. В цілому (рис. 2.5) спостерігається очевидна тенденція до зменшення утворення відходів зі збільшенням прямих енергетичних витрат, пов'язаних із здійсненням даного технологічного процесу. Мабуть, це повинно відноситися до зростання раціонального енергозабезпечення, тобто до зростання корисної енергії, що використовується в системі. Чим вищий тепловий ККД системи, тим менше відходів може бути в технології. Це припущення підлягає подальшому вивченню.



- 1 — кількість активованих компонентів у сировині;
2 — кількість компонентів у відході

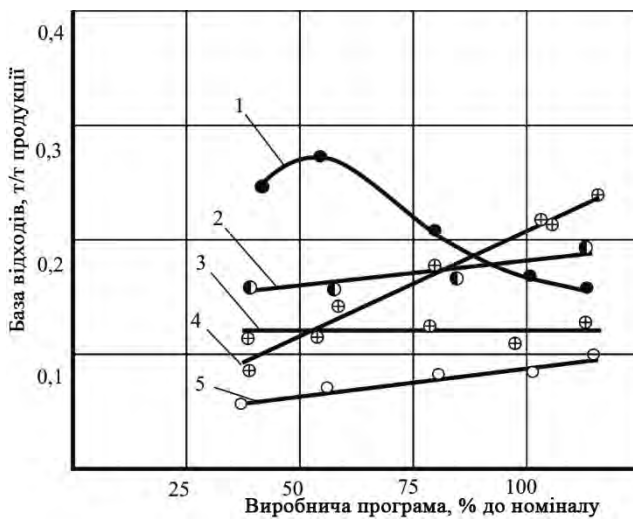
Рисунок 2.5 — Вплив технологічного енергоспоживання (а) і тривалості розчинення (б) на компонентний вміст відпрацьованої бази

І ще один попередній висновок, який впливає з цієї частини дослідження. При однакових енерговитратах інтенсивність утворення відходів тим нижча,

чим довший технологічний процес. Зокрема, ми розглянули таку залежність, характерну для фізико-хімічних процесів. Розглянемо далі.

В цілому, якщо під інтенсифікацією технологічного процесу мається на увазі така організація, в якій виробляється більша кількість продукції в одиницю часу, можна зробити ще один, попередній висновок, що вимагає додатково-го підтвердження: *інтенсифікація будь-яких технологічних процесів не може бути ефективною з точки зору мінімізації утворення відходів.*

Утворення відходів у технологічному процесі тим менше, чим менший обсяг виробництва. І тим більша його тривалість і вищі його прямі витрати енергії (рис. 2.6).



1 — загальна база відходів виробництва; 2 — база відходів при виробництві лопат; 3 — база відходів при виробництві дверних петель; 4 — база відходів при виробництві побутових сковорідок; 5 — база відходів при виробництві пробок

Рисунок 2.6 — Формування бази відходів у залежності від виконання виробничої програми в прокатно-штампувальному цеху

Ми бачимо, що найбільш прямим визначальним фактором утворення відходів у технологічному процесі є стан сировинної бази. Як вже говорилося вище, основним показником тут слід вважати її багатокomпонентність, а також співвідношення інтегрального ступеня спорідненості і ступеня відторгнення елементів сировинної бази [1]. Загальна закономірність виглядає наступним чином: *мінімізація утворення відходів безпосередньо залежить від ступеня однорідності сировинної бази, збільшення ступеня спорідненості і зменшення ступеня відторгнення елементів сировинної бази в даному технологічному процесі.*

* * *

У даній роботі аналізу підлягали понад 30 подібних технологічних процесів і виробництв із різних галузей. Методологія дослідження включала наступне.

1. Аналіз особливостей технологічних і виробничих процесів, включаючи деякі природні технології.

2. Вивчення матеріальних потоків, що забезпечують дане виробництво, особливості сировини і виробничої бази, бази відходів виробництва, транспортних і енергетичних потоків.

3. Аналіз бухгалтерських звітів і паспортів руху матеріалів на підприємстві, включаючи витрати на всі види обслуговування відходів.

4. Визначення якісних характеристик матеріальних потоків, задіяних у даному виробництві:

- однорідність матеріалів сировини;
- частка основного вихідного продукту у сировинній базі;
- існуюча мінімальна споживча цінність компонентів бази відходів;
- однорідність складу бази відходів.

5. Систематизація виробництва за такими видами:

- динаміка виробничої програми;
- якість енергоспоживання;
- продуктивність або тривалість одного виробничого циклу;
- якісні характеристики основних матеріальних потоків;
- співвідношення вартісних показників продукції і відходів.

6. Створення математичних моделей розширених виробничих систем, що описують процеси виробництва, накопичення, розподілу, споживання, переробки та інші явища, що сприяють утворенню відходів.

7. Узагальнення матеріалів аналізу та виявлення загальних закономірностей утворення відходів у технологічних процесах та виробничих системах.

Результати експериментів та інші дані підлягали стандартній статистичній обробці.

Така узагальнена методика мала ряд уточнень або специфічних поправок при застосуванні до різних технологій. Однак принципи системного підходу залишилися незмінними. Це дозволило з достатнім ступенем об'єктивності дослідити можливі закономірності і причини, які супроводжують процеси утворення відходів [2].

Розглянемо деякі з цих закономірностей на прикладі реального технологічного процесу виробництва сталі.

З точки зору цих досліджень ми маємо право характеризувати сталеплавильне виробництво як процес очищення металу від непотрібних і шкідливих хімічних включень і додавання необхідних компонентів з метою контролю його властивостей.

Основу сировинної бази, наприклад, мартенівського виробництва, становить рідкий чавун із заданим вмістом вуглецю, фосфору, сірки, кремнію та ін., перероблений металевий лом (вторинні металеві відходи), а також компоненти, що забезпечують необхідний склад одержуваної сталі за рахунок фізико-хімічних процесів: вапно і вапняк, залізна руда, прокатна окалина та інші компоненти (табл. 2.5).

Якщо припустити, що основним компонентом переробки сталі заданого складу є відновлене залізо Fe із заданим вмістом вуглецю ($C = 0,1 \div 0,9\%$), то інші складові елементи сировинної бази (P, S, Si, Ca, Mg, Al і т. д.) є небажаними і зайвими в сталі і повинні бути видалені. Хімічні добавки, такі як Mn, Si, Ni, W, Mo, Cr, Ti та ін., забезпечують потрібні властивості металу і є обов'язковими, такими, що входять до складу готової сталі. Технологи відносять до шлакоутворення процес формування гомогенного багатокомпонентного розплаву, що складається з окремих слідів компонентів сировинної бази, включаючи різні добавки. Технологічно виробництво шлаку можна описати за схемою (рис. 2.7). Однак для тих, хто цікавиться природою шлакоутворення як процесу появи відходів, цього недостатньо.

Таблиця 2.5 — Приблизний хімічний склад сировинної бази виплавки сталі, %

Чавун переробний	C		Si		Mn		P		S	
	4,0		0,7–1,25		1,0–1,75		0,15–0,30		0,03–0,07	
Сталевий брухт	Fe		олово		Pb		Zn		S	
	96–98		1,0–1,8		1,3–1,5		0,05–0,3		0,005–0,01	
Вапняк	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	–		
	53,5	0,70	0,6–2	0,15	0,25	0,01	0,24	–		
Вапно	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	P ₂ O ₅	S		
	85,0	4,5	4,5	0,1	0,2	–	0,1	0,2		
Залізна руда	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO		
	81,2	12,6	3,8	1,2	0,2	0,2	0,14	0,56		
Прокатна окалина	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	P ₂ O ₅	MnO		
	1,4	0,6	1,75	0,62	35,5	58,1	–	1,43		
Феросплави	FeM, FeSi, FeCr, FeMo, Ni, V, Ti та ін.									

Основним видом відходу є мартенівські шлаки певного хімічного складу (табл. 2.6). Основна роль шлаку в сталеплавильному виробництві полягає в накопиченні непотрібних компонентів, що виділяються з металу. Однак цим функції шлаку не обмежуються. Існує ціла група завдань, що вирішуються завдяки наявності шлаку в сталеплавильному агрегаті. Вони полягають в забезпеченні необхідних умов теплообміну між газовою і металевою фазами, по-

стачанні ванни киснем; захисті рідкого металу від проникнення азоту і водню; регуляції напрямку фізико-хімічних реакцій (в сторону окислення або відновлення); забезпеченні очищення металу від домішок фосфору і сірки; адсорбуванні в собі спливаючих до верху оксидів різних домішок і т. д.

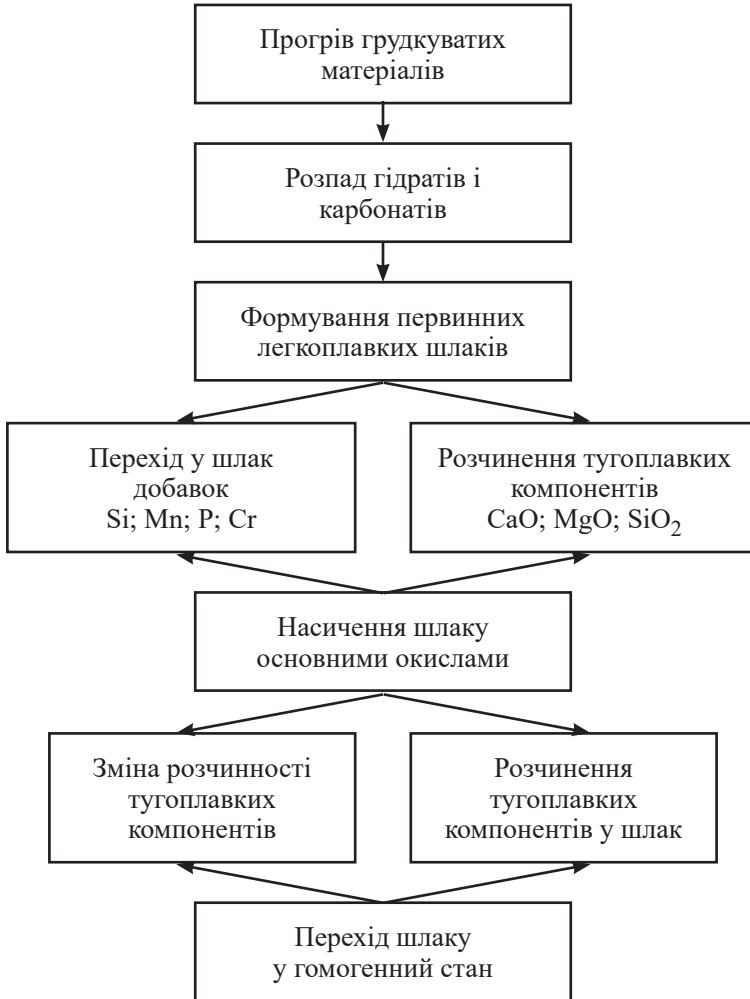


Рисунок 2.7 — Схема формування основного сталеплавильного шлаку

Практика показує, що неможливо отримати сталь необхідної якості без дотримання необхідного шлакового режиму. У піч завантажуються спеціальні добавки, передбачені технологією і призначені для підвищення основності $r = \text{CaO} / \text{SiO}_2$ шлаку (вапна з високим вмістом CaO) з метою підвищення окислення домішок кремнію, марганцю, алюмінію, вуглецю та інших компонентів в сталі (залізна руда або окалина, що містять Fe_2O_3 та FeO відповідно) для

підсилення дифузії кисню з шлаку до металу та ін. Шлак, отриманий у роботі конвертера, небагато чим відрізняється за хімічним складом від мартенівського, і також призначений для виконання певних технологічних функцій.

Таблиця 2.6 — Приблизний хімічний склад сталеплавильного шлаку, %

Вид переробки	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	S	P ₂ O ₅
Мартенівський	22,0	4,44	40,0	5–10	5–6	9–12	4–9	0,1	до 8
Конвертерний	20,0	1,8	40,0	5–6	3,8	9–18	6–9	0,1	0,5–1

Шлак у сталеплавильному виробництві виступає не просто отриманим відходом, а виглядає як інструментарій, створений з компонентів сировинної бази, призначений для технологічної переробки тієї частини сировини, яка представлена корисним продуктом (сталлю). Подібні властивості шлаку характерні для багатьох інших фізико-хімічних методів перетворення компонентів сировинної бази.

Подібні властивості інструментарно належного відходу проявляються на багатьох видах виробництва. Наприклад, у технології зварювання широко застосовуються зварювальні флюси, покликані поліпшити якість зварних швів і, одночасно, складають більшу частину відходів при зварюванні. Такими ж властивостями володіють сполучні компоненти формувальних сумішей у ливарному виробництві, основним технологічним завданням яких є утримання моделі лиття від попереднього руйнування. Вони складають основну частину наступних відходів даного виду виробництва. У тій же металургійній промисловості стічні води, які грають роль технологічного охолоджувача конструкцій сталеплавильних агрегатів, також відносяться до функціональних інструментальних відходів.

Повертаючись до мартенівського виробництва, звертаємо увагу на те, що разом з необхідними компонентами матеріали, що складають сировинну базу, як правило, містять ті з них, які явно не потрібні для досягнення кінцевого результату і складають додаткову частину відходів, не передбачену самою технологією. Такі компоненти позначені темним кольором у таблиці 2.5.

Простий розрахунок співвідношення «потрібних» і «непотрібних» компонентів у співвідношенні 1,4:1 вказує на далеко не сприятливий склад сировинної бази виробництва, її здатність посилювати утворення відходів. Існує деяке протиріччя в структурі компонентів сировини і добавок. Такі компоненти відторгнення в складі чавуну і брухту, як кремній, сірка, фосфор, присутні у вигляді оксидів у вапняних добавках, залізній руді та ін., і переходять у вторинний шлак, який видаляється з агрегату у вигляді відходів, які не виконують жодних інструментальних функцій. Вони складають основну масу відходів у вигляді кислих сталеплавильних шлаків. Співвідношення корисних і шкідливих (не корисних) функцій, що виконуються компонентами сировинної бази, в тому числі і тих, що виконують інструментальні функції, становить приблизно 50:50 (рис. 2.8).

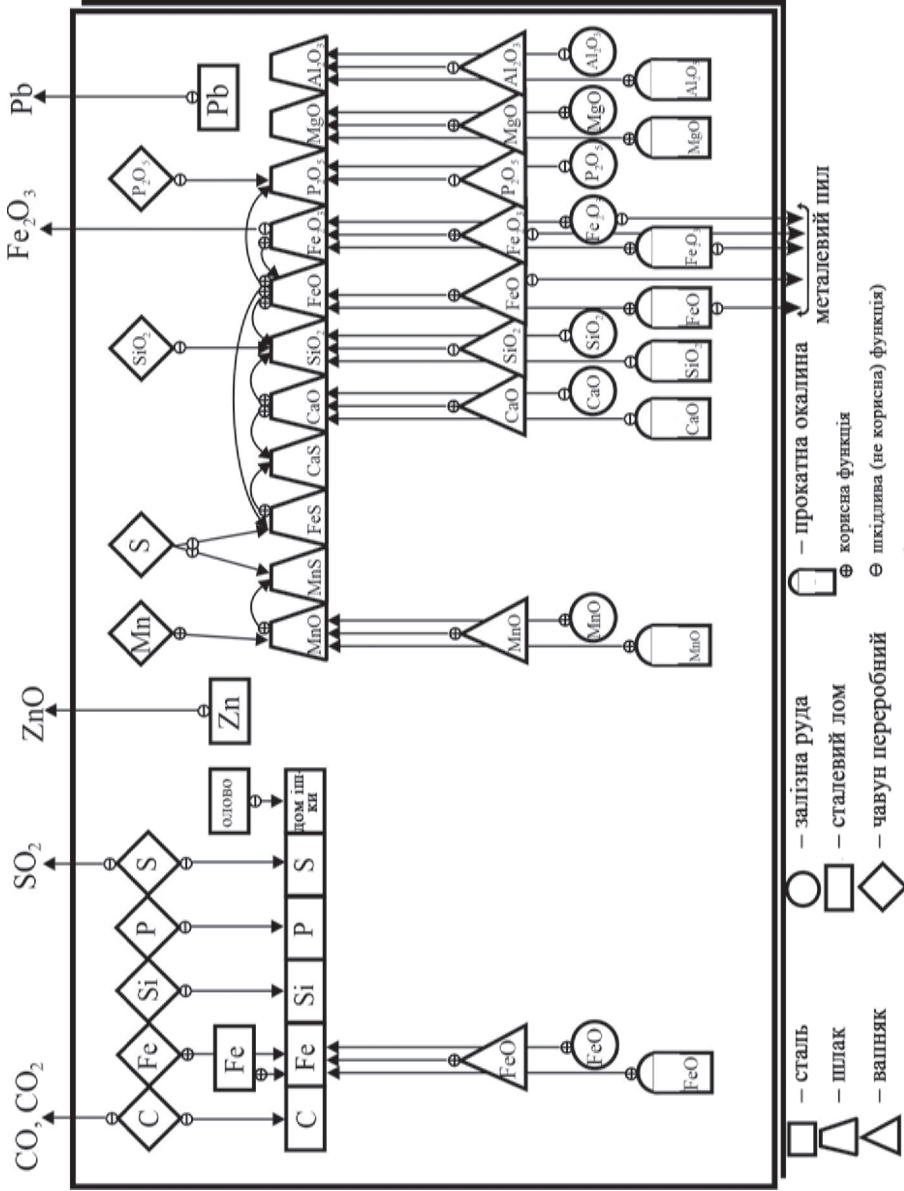


Рисунок 2.8 — Структура матеріальних потоків сталеплавильного виробництва АЛПБ

Таким чином, відходи можуть мати властивість бути плановим функціональним інструментом у виробничій системі.

Інші властивості мають газоподібні відходи сталеплавильного виробництва. Джерелами газів є, з одного боку, сировина, а з іншого — атмосфера сталеплавильного агрегату. У тій мірі, в якій у сталеплавильному агрегаті присутня активна газова фаза, вона бере участь у фізико-хімічних і теплофізичних процесах. Та частина утворюваних відпрацьованих газів, яка видаляється з печі, несе функціональне навантаження, забезпечуючи статичний напір і необхідний газовий режим агрегату, сприяючи реалізації його основних функцій. Структура і кількість газоподібних відходів залежать, перш за все, від складу сировинної бази (рис. 2.9), потужності сталеплавильного агрегату, способу нагріву (газомазутний факел, теплота екзотермічних реакцій, теплота електричної дуги або електричний опір), енергоспоживання (рис. 2.10), від параметрів згоряння палива в атмосфері печі — повноти згоряння, газодинаміки паливного факела та ін.

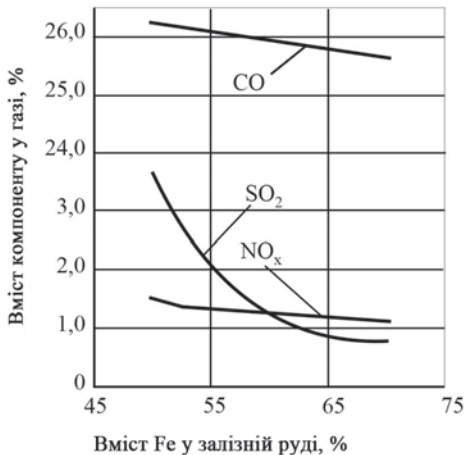
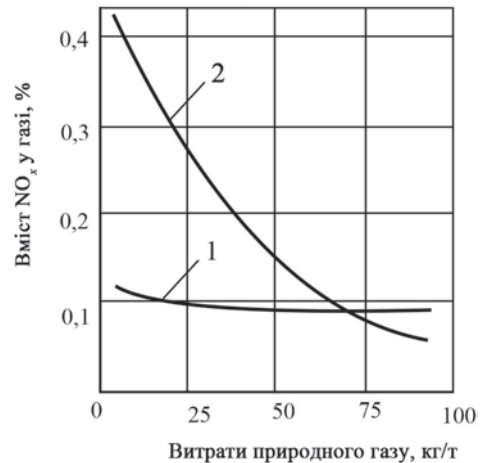


Рисунок 2.9 — Залежність вмісту компонентів у доменному газі від якості залізної руди



1 — в доменному газі;
2 — у підігрівачах повітря
Рисунок 2.10 — Залежність NO_x від споживання природного газу

Хімічний склад відпрацьованих газів визначається умовами згоряння палива, його повнотою, складом горючих сумішей, ступенем випалювання заліза зі сталеплавильної ванни, тобто залежить від енергії процесу. Вміст пилу, що виноситься з газовою фазою, також залежить від складу сировини (рис. 2.11).

Систематичний аналіз репрезентативної вибірки вихідних виробничих систем дозволив виявити деякі особливості появи і формування бази відходів, а також найважливіші залежності її параметрів від різноманіття визначальних показників (рис. 2.12). Безсумнівним фактором, що визначає кількісні характе-

ристики бази відходів практично будь-якого виробництва, є її енергетична залежність. У цьому розділі питання енергетичної залежності утворення відходів розглядається тільки в аспекті систематизації технологічних процесів у залежності від якості використовуваної в ньому енергії, яка бере безпосередню участь у переробці сировини (табл. 2.7). Основним видом відходів, який можна контролювати в даному випадку, є втрати енергії у вигляді теплового розсіювання.

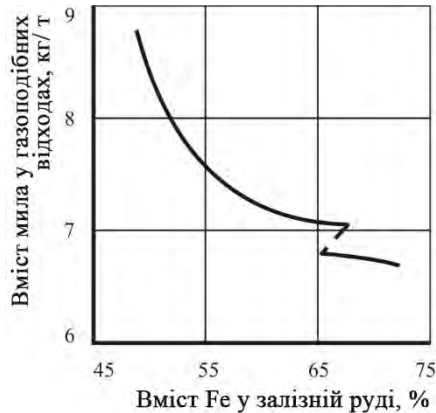


Рисунок 2.11 — Залежність викидів пилу при виробництві рідкої сталі від якості залізної сировини

Таблиця 2.7 — Класифікація видів енергії, безпосередньо задіяних у найбільш типових технологічних процесах

№	Вид енергії	Ефективність використання енергії	Приклади виробництв і технологій
1	Механічна обробка	0,10 – 0,25	1. Обробка металів тиском. 2. Швацьке виробництво
2	Теплова обробка	0,14 – 0,30	1. Приготування їжі. 2. Термічна обробка металів. 3. Теплоенергетика
3	Фізико-хімічна обробка	0,10 – 0,35	1. Виробництво сталі, чавуну, лакофарбових виробів
4	Обробка електромагнітними полями	0,80 – 0,97	1. Електроліз. 2. Голографія. 3. Виробництво телевізійної картинки
5	Ядерні технології	0,95 – 0,99	1. Виробництво матеріалів високої чистоти. 2. Кумулятивні вибухові технології

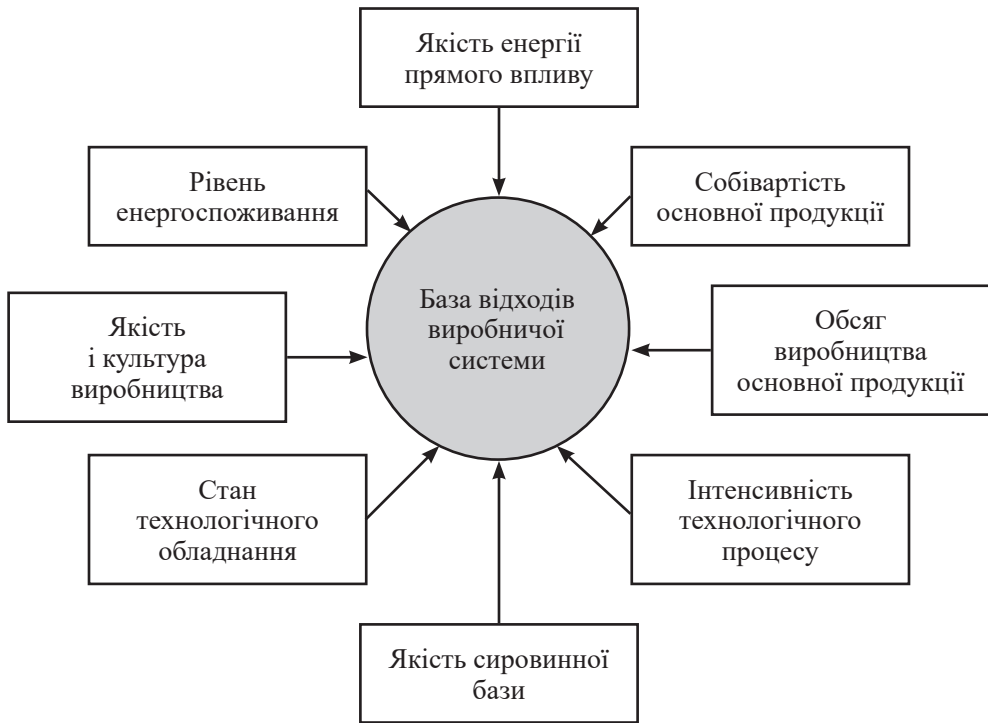


Рисунок 2.12 — Фактори, що впливають на механізм утворення відходів у виробничих системах

Проте вплив енергоємності виробництва на зростання утворення відходів легко побачити на прикладі виробництва сталі (рис. 2.13).

Наступним важливим фактором, що визначає процеси утворення відходів, є ємність виробничої програми. В першу чергу можна говорити про обсяги виробництва і деяких похідних цього показника. У переважній більшості технологій існує очевидна пряма залежність між зростанням обсягів виробництва, здійснюваних на конкретному обладнанні, та утворенням відходів. Однак із підвищенням якості використовуваної енергії у вигляді інструментів ступінь цієї залежності слабшає (рис. 2.14), а для наукоємних технологій, таких як виробництво матеріалів високої чистоти, виробництво електронних чіпів, лазерних дисків, сучасних комп'ютерних технологій і т. д., зі збільшенням обсягів виробництва очевидним є зменшення частки відходів, що припадають на одиницю продукції.

Для більшості технологій варіаційний ряд має тенденцію розходитися. Це означає більш стійку близькість кореляцій між утворенням відходів і потужністю виробничої програми при низьких значеннях останньої. Виняток становить термічна обробка матеріалів. Мабуть, тут приховані деякі особливості технологій термічної обробки, що сприяють управлінню утворенням відходів у

самому технологічному процесі. Адже при термічній обробці одним із відходів є випаровування з поверхні теплоносія й оброблюваного матеріалу. При високому енергоспоживанні найчастіше ці два компоненти в технології поєднуються. Наприклад, при виробництві рідких харчових продуктів рідка складова продукту є теплоносієм і одночасно предметом виготовлення. У такому стані, звичайно, слід очікувати більш стійкого співвідношення між обсягом виробництва і одержуваними відходами.

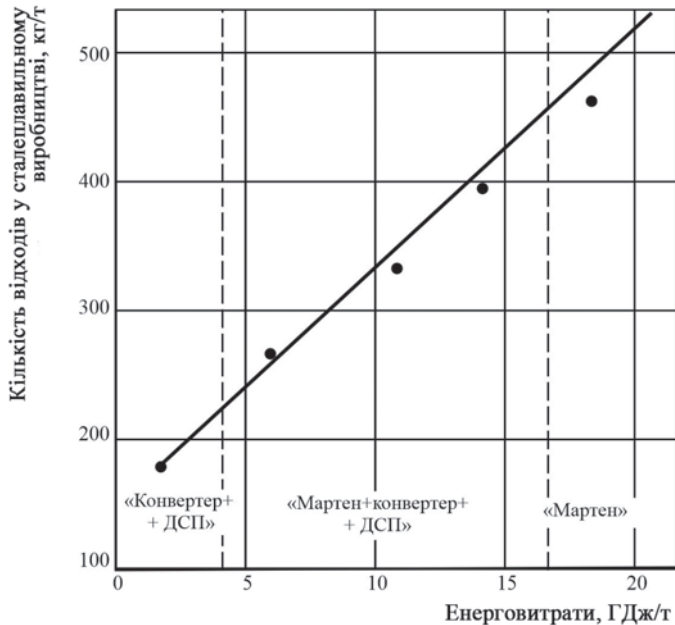
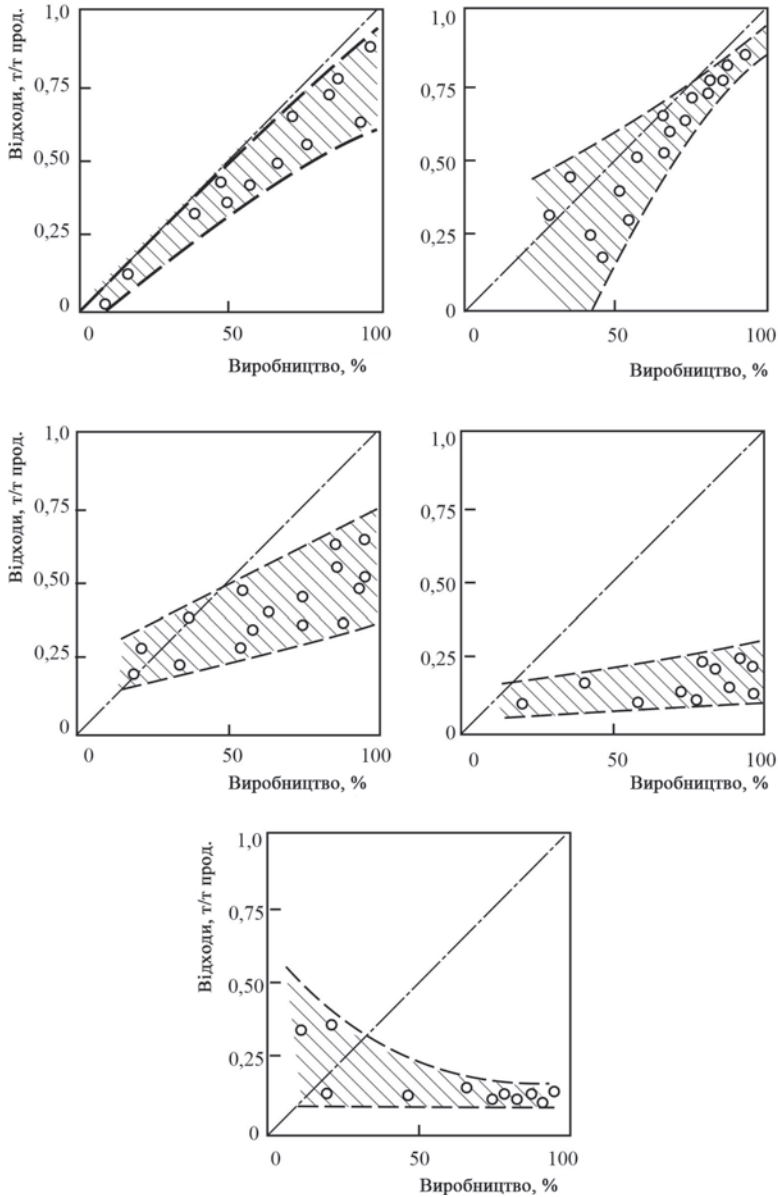


Рисунок 2.13 — Вплив енерговитрат на утворення відходів при виробництві рідкої сталі в системі «мартенівський агрегат — конвертер — ДСП»

Таким чином, енергетичні особливості переробки компонентів сировинної бази в технологічному процесі відіграють значну роль у процесі утворення відходів будь-якого виробництва. Про це свідчать і результати аналізу впливу ККД прямого використання енергії на інтенсивність і кількість утворених відходів (рис. 2.15). Загальний висновок, який випливає з такого аналізу, полягає в тому, що чим вища якість енергії безпосереднього використання в технологічному процесі, тим менше цей процес схильний до утворення відходів, тим більше використовується виробничо-сировинна база.

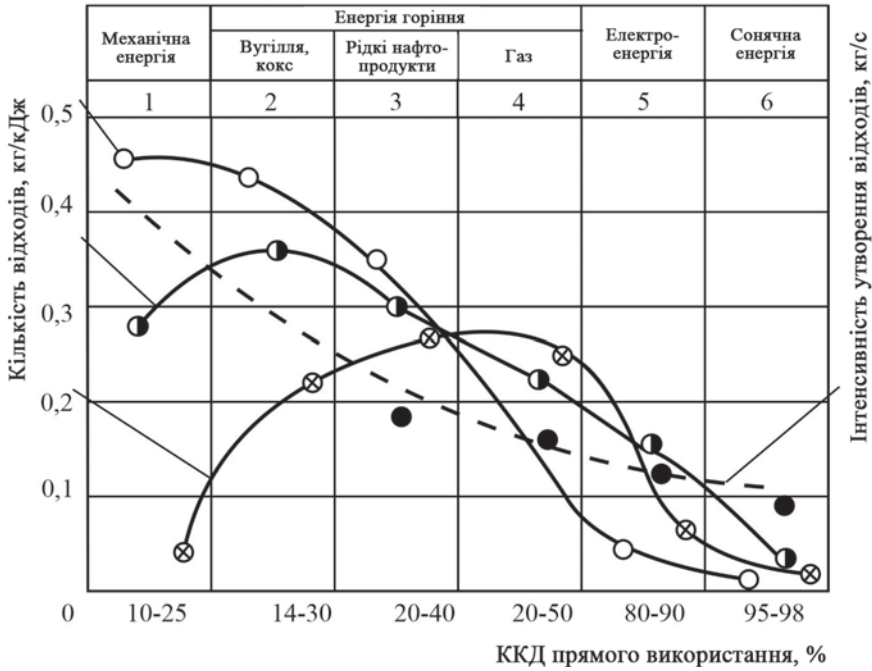
Звичайно, необхідно враховувати набагато більш високий ступінь підготовленості сировинної бази в високотехнологічних технологіях у порівнянні, наприклад, з фізико-хімічними технологіями переробки мінеральної сировини. Проте тенденція очевидна. Другою підтвердженою особливістю утворення відходів є їх залежність від інтенсивності технологічного процесу (рис. 2.16).

Чим швидші темпи впровадження технології, тим більше відходів утворюється. Інтенсивність утворення відходів тут може збільшуватися до 50 % обсягу сировинної бази.



При: а) механічній обробці; б) термічній обробці; в) фізико-хімічній обробці;
г) обробці електромагнітними полями; д) ядерній технології

Рисунок 2.14 — Вплив динаміки виробничої програми на рівень утворення відходів



1 — прокатне виробництво; 2 — виробництво коксу; 3 — мартенівське виробництво; 4 — доменне виробництво; 5 — виробництво в дугових електропечах; 6 — сонячна плавильна установка ЦНДІЧМ

Рисунок 2.15 — Вплив якості використовуваної енергії в металургійних виробництвах на кількість та інтенсивність утворення твердих (а), рідких (б) і газоподібних (в) відходів

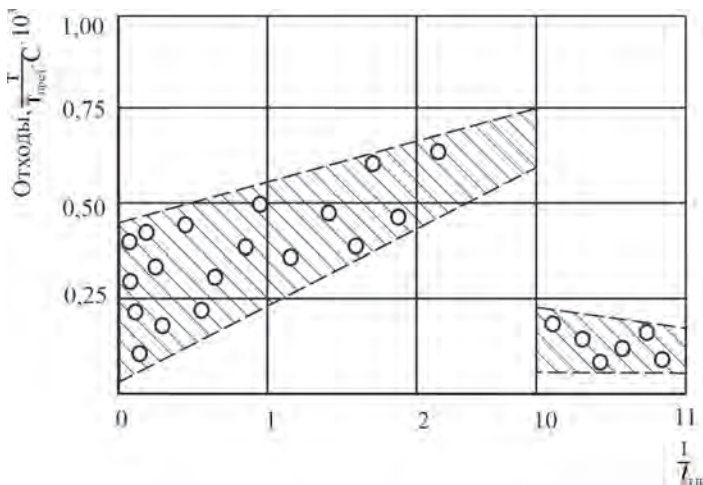


Рисунок 2.16 — Вплив інтенсивності технологічного процесу на швидкість утворення відходів

Найпростіший приклад тут — механічна обробка металу. Це людино-машинна система, в якій оператор прямо та опосередковано грає роль сполучної ланки між інструментом і одержуваним продуктом. Він створює темп обробки деталей, а також контролює (апаратно, візуально) якість виробу. Чим вища швидкість обробки, тим більша ймовірність непродуктивного використання інструменту, дефектів, помилок, використання непідготовленої сировини. Все це, безумовно, сприяє збільшенню утворення відходів. З іншого боку, більш інтенсивні методи переробки компонентів сировинної бази можуть дати так званий системний ефект, який буде виражатися, в тому числі, і в зменшенні бази відходів. Прикладом можуть служити високотехнологічні технології, тривалість яких вимірюється в секундах і частках секунд. Утворення відходів тут не перевищує 5 % від обсягу використовуваної сировинної бази. Однак тісної залежності від інтенсивності технологічного процесу виявлено не було через відсутність репрезентативної вибірки даних.

Третьою з раніше виявлених особливостей утворення промислових відходів є якісний склад сировинної бази, зокрема, однорідність матеріалів сировинної бази, частка основного сировинного продукту в сировинній базі. Наприклад, для перерозподілу «чавун – сталь» така залежність показана на рис. 2.17. Ці параметри суттєво впливають на деякі характерні параметри бази відходів, зокрема на однорідність складу бази відходів, фактичну споживчу вартість компонентів бази відходів тощо. Подібні закономірності в узагальненому вигляді надані на рис. 2.18. Зокрема, підтверджується, що компонентна неоднорідність сировинної бази тягне за собою майже прямо пропорційну складову неоднорідності бази відходів. А це, в свою чергу, ускладнює використання таких відходів, сприяє зниженню їх споживчої цінності, збільшенню додаткових витрат на утримання і реалізацію відходів даного виробництва.

Особливості формування витрат на утримання відходів виробництва також опосередковано пов'язані з їх залежністю від собівартості продукції (рис. 2.19).

Загальна закономірність пряма, тобто, чим вища собівартість основного продукту, тим значніші фактичні прямі витрати на утримання бази відходів. Причому розподіл витрат на відходи виглядає наступним чином: 60–65 % відноситься до консервації та тривалого зберігання відходів за належністю до підприємства-виробника; 15–25 % — на внутрішню обробку для використання в даному виробництві у вигляді реверсу; 25–30 % — для продажу стороннім організаціям. Дохід, отриманий від зовнішньої реалізації відходів, віднімається із загальних витрат на утримання всієї бази відходів.

Основні закономірності, що відображають вплив собівартості продукції на величину витрат, пов'язаних із утриманням відходів, підтверджуються, якщо висока собівартість продукції пов'язана з кращим складом сировинної бази. Наприклад, при більшій однорідності сировини або при її попередньому зба-

гаченні база відходів, отриманих у результаті переробки такої сировини, більш однорідна і витрати на її утримання знижуються.

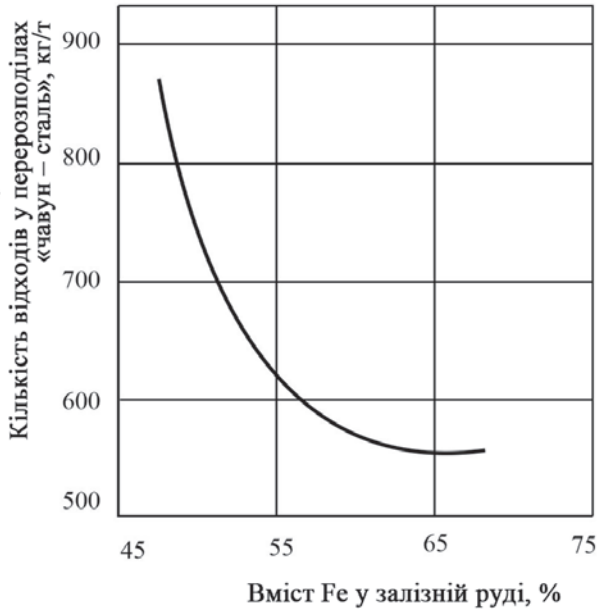


Рисунок 2.17 — Вплив якості залізної сировини на кількість відходів у системі виробництва «чавун – сталь»

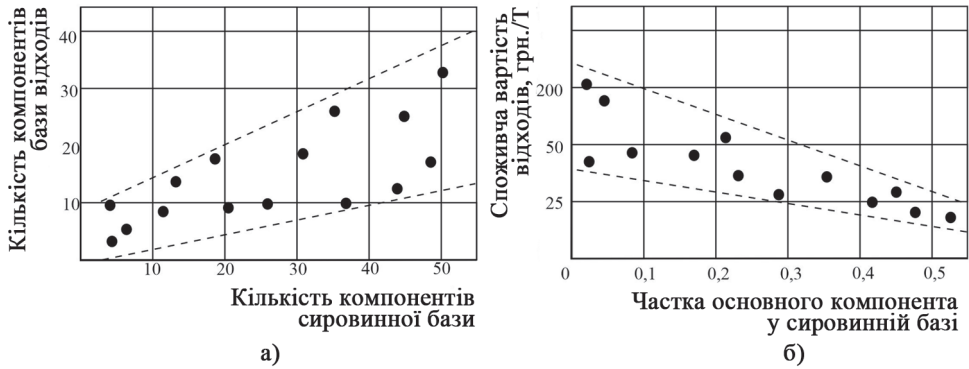
Більш підготовлена однорідна сировинна база потребує більш значних попередніх витрат, але в той же час вона є джерелом значно менших відходів і менших витрат на їх утримання в основному виробництві.

Нарешті, більш розвинене виробництво вимагає сучасних технологій переробки й утримання відходів. Це також призводить до збільшення витрат на ці цілі, але допомагає мінімізувати утворення відходів. Прикладом може служити досвід приготування і зберігання радіоактивних відходів атомних електростанцій.

Слід звернути увагу на значний розкид даних про співвідношення прямих витрат на утримання бази відходів і собівартості продукції. Цій розкид може досягти потрійної різниці для різних галузей. Тому результати цих досліджень можуть показати тільки якісну сторону питання. Проте вони дають відповідь на питання про деякі причини і властивості утворення відходів у виробничих системах.

Таким чином, попередні результати наших досліджень і експериментів дозволяють зробити наступні висновки.

По-перше, причиною утворення відходів у виробничій системі є втрати енергії через її розсіювання при перетворенні.



а) компонентність; б) споживча цінність

Рисунок 2.18 — Вплив якості сировинної бази на характеристичні параметри бази відходів

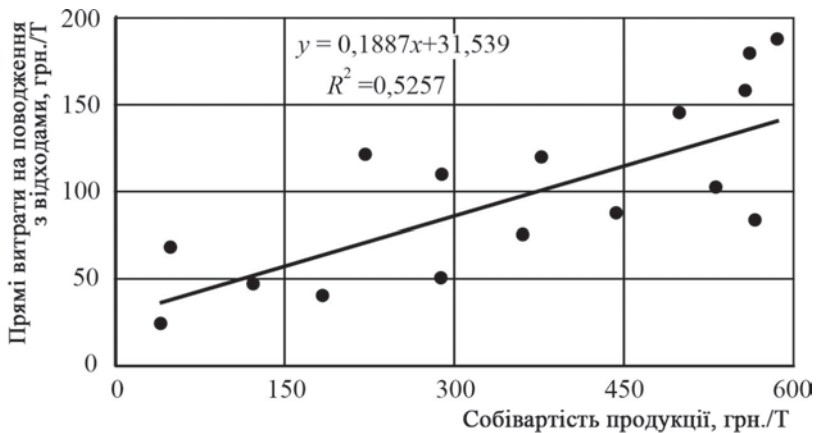


Рисунок 2.19 — Вплив собівартості 1 тони продукції на витрати, пов'язані з управлінням відходами металургійних виробництв

Додаймо тут, що подібний механізм є закладеним при утворенні відходів, які відображають процеси вторинного відторгнення (відходів споживання), і вони також підлягають дисипації і не підлягають переробці. Наприклад, просторово концентрована під землею залізна руда, перероблена в повністю сконцентрований в просторі метал, в ході подальшої механічної обробки може перетворитися в масу швейних голок, ложок, ножів, гайок та інших дрібних виробів, які після закінчення експлуатаційного періоду ніколи вже не матимуть просторової концентрації і тому практично не підлягають локалізації і вторинній переробці.

По-друге, причини утворення відходів пов'язані з багатокомпонентним характером сировинної бази, її забрудненням компонентами, які не представ-

ляють життєво важливого інтересу для даного технологічного процесу. Для якісного перетворення цих компонентів у системі, як правило, не передбачені енергетичні ресурси. Тому їх зміна в системі здійснюється за рахунок енергетичних, просторово-часових ресурсів, призначених для перетворення основних компонентів сировинної бази. Ці витрати є додатковими і є «компенсацією» технологічному процесу за необхідність переробки того, що не передбачено за основним призначенням системи.

Третя видима причина утворення відходів криється в специфіці самої технології, обраних способах переробки сировини, технічному забезпеченні обраної технології. Навіть неминучі втрати енергії залежать від якості енергії, способу її постачання, перетворення та використання в системі. Критерієм такої оцінки є тепловий ККД системи. Резервом для зниження утворення відходів у даному випадку може стати розвиток самої технічної системи, яка забезпечує цю технологію.

Існує група факторів, що визначають механізм виникнення і підтримки бази відходів у виробничій системі, але вони носять суто якісний характер. До них відносяться наступні:

1. Стан і технічний рівень виробничого процесу. В першу чергу це відноситься до обладнання, яке використовується в даній технології. Зокрема, зношене обладнання сприяє зростанню непередбачених втрат матеріалів, неорганізованих викидів пилу і газу, утворенню неврахованих рідких стоків. На етапі експлуатації зношеного технологічного обладнання забезпечити нові системи очищення практично неможливо, в зв'язку з тим, що інтеграція двох технічних систем з різним рівнем надійності призводить до того, що комбінована система буде працювати на рівні їх менш надійної ланки. Це означає, що очисні пристрої будуть працювати в далеко не номінальному режимі. Прикладом може служити установка потужних електрофільтрів фірми «Spake» (Франція) на металургійному обладнанні підприємства довоєнного ММК імені Ілліча (Маріуполь).

2. Спосіб перетворення енергії і рівень споживання енергії. Ці фактори очевидні, оскільки пов'язані з основними втратами енергії в технічних системах. Використання в системі енергії прямої дії нижчої якості — механічної, теплової, фізико-хімічної, частково електричної — однозначно призводить до значних запрограмованих втрат для цього технологічного процесу. Це стосується парових машин, механічних і паливних генераторів, котельних систем, пірометалургійних процесів. ККД таких систем, як правило, не перевищує 50% від споживання.

3. Рівень технологічної культури і культури виробництва. Для ергатичних систем цей фактор є одним з найважливіших. Багато досліджень присвячено ролі суб'єктивних факторів у роботі ергатичних систем [3, 4, 5]. Всі вони однаково пов'язані з утворенням відходів у виробничих системах. Для більш детального аналізу розглянемо схему довгострокової цільової функціональної

системи стосовно процесу утворення відходів і роль людини як рівноправної складової цієї системи (див. рис. 2.20). Головною умовою, що впливає на процес утворення відходів з боку людини, є надання продукту виробництва властивості споживчої вартості в залежності від соціальних потреб самої людини. До інших не менш значущих факторів, які є предметом цієї частини аналізу, можна віднести професіоналізм працівника, відповідальність і технологічну дисципліну на робочому місці, здатність до економного виконання своїх обов'язків.

В ієрархії поведінкових мотивацій людини ці фактори займають місце серед потреб забезпечення власної безпеки і соціальних потреб.

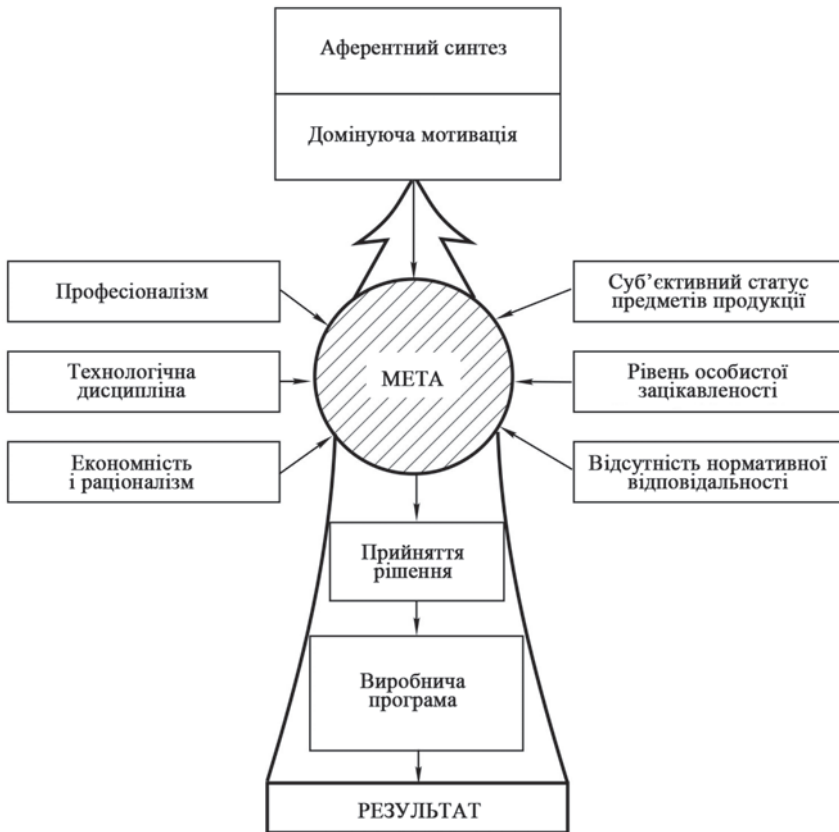


Рисунок 2.20 — Довгострокова цільова функціональна схема «мотивація – мета – результат» в інтерпретації процесу утворення відходів в ергатичних системах

2.2. Досвід впровадження підходів до вирішення проблеми мінімізації відходів у джерелі походження

До недавнього часу простий аналіз показував, що до настання п'ятого технологічного порядку людиною було створено понад 300 тисяч різних технологічних процесів, заснованих на різноманітних фізичних, хімічних, біологічних та інших ефектах. З розвитком наукоємних технологій, виконуючі роботи з сировиною на нанорівні, кількість технологій стала рости лавиноподібно. Осягнути неосяжне — явно невдячна справа. Проте можна розглянути кілька системоутворюючих принципів, які лежать в основі багатьох технологій.

Одна з інтерпретацій підходів до вирішення питань утворення відходів у більшості технологічних процесів може належати П. Г. Кузнецову [6, 7]. Вона полягає в тому, що всі природні речовини, так чи інакше, використовуються людиною заради отримання корисних продуктів. Але в природі майже не існує речовин, чистих у природному вигляді, щоб вони відразу володіли споживчими якостями для людини. Велика частина того, що людина отримує від природи, — це механічні, фізико-хімічні та інші суміші: суміші у вигляді нафтопродуктів, суміші рідкісних елементів, суміші у вигляді мінеральних руд, в тому числі фізико-хімічні, зокрема, умовні «суміші» металів з киснем (оксидами), кремнієм, фосфором, сіркою і ще багатьма компонентами у вигляді фізико-хімічних сполук, компактно зосереджених у підземних родовищах. Найчастіше перед використанням такі змішані природні речовини піддаються деякій обробці, очищенню, збагаченню, що згодом стало називатися технологіями і виробничими процесами.

Найбільш поширені процеси зазвичай пов'язані з поділом природної матерії на окремі її компоненти. Те, заради чого обробляються ці суміші, є корисним продуктом. Те, що залишається невикористаним після такого поділу, — це відходи, в загальному сенсі цього терміну. На цьому принципі засновані такі галузі, як гірничодобувна промисловість, металургія, включаючи гідрометалургію, нафтопереробка, хімічна промисловість і фармацевція, металообробка, будівельна та легка промисловість, багато галузей харчової промисловості та ін. Ця проста схема, в якомусь сенсі, може служити ключем до розуміння суті відходів у результаті діяльності людини.

З точки зору енергоентропіки поділ сумішей і їх упорядкування — це процес, пов'язаний зі зниженням темпів зростання ентропії (за термінологією П. Кузнецова — швидкість не убування ентропії [7], за М. М. Моїсєєвим [8] — мінімізація дисипації), тобто з упорядкуванням.

Оскільки, в загальних рисах, вся упереджена робота з розділення таких сумішей дорівнює $\Delta A = T \Delta S$, то при постійній абсолютній температурі T вона зводиться до сповільнення зростання ентропії ΔS . Виникає питання: як у залежності від способу впливу оцінити ефективність цього поділу? Автор вико-

ристовує дуже поширену концепцію ентропії змішування, маючи на увазі, що будь-який поділ вихідної суміші загальною масою M вимагає деякої корисної роботи A , спрямованої в бік упорядкування, яка визначається як різниця між приведеною ентропією багатокомпонентної суміші до і після повного розділення [9, 10].

$$A = \sum_{j=1}^m m_j \sum_{i=1}^n (x_i^j \cdot \ln x_i^j) - M \sum_{i=1}^n (x_i^0 \cdot \ln x_i^0) \quad (2.1)$$

При цьому ентропія вихідної суміші представляється у вигляді суми ентропій складових компонентів. Тут $x_1^0, x_2^0, \dots, x_i^0, \dots, x_n^0$ — наведені початкові концентрації або кількісний склад вихідної природної суміші. В результаті неповного поділу сумішей маса кожного окремого компонента дорівнює $m_1, m_2, \dots, m_j, \dots, m_m$, а склад кожного компонента у ваговій частці m_j окремого j -го компонента: $x_1^j, x_2^j, \dots, x_i^j, \dots, x_n^j$. За умови, що організовано повний поділ i -го компонента на чистий залишок, тобто $x_i^j = 1$, його ентропія за визначенням буде дорівнювати нулю (див. умова (2.1)). А корисна робота на одиницю ваги суміші зменшиться на величину частини першого доданка ($x_i^j \cdot \ln x_i^j$). Отже корисна робота поділу загальної маси суміші на окремі чисті компоненти зводиться до $A_j = -M \sum_{i=1}^n (m_j x_i^0 \cdot \ln x_i^0)$. Для всіх інших проміжних значень поділу в співвідношенні концентрації $x_i^j < 1$ правильною умовою буде

$$A_m = \sum_{j=1}^m m_j \left(\frac{M - m_j}{M} \right) \sum_{i=1}^n (x_i^j \cdot \ln x_i^j) - M \sum_{i=1}^n (x_i^0 \cdot \ln x_i^0) \quad (2.2)$$

Швидкість незменшуваної ентропії поділу, в якості критерія синергії таких процесів, як результат відділення непотрібних компонентів у кількості $n \geq 1$ від вихідної суміші, збільшується до співвідношення компонентів у вихідній суміші в пропорції 50:50, а потім поводить себе нестабільно (див. рис. 2.21). На кожен відокремлений i -й компонент в обсязі j -ої частини в відокремленій суміші (відходах), яка відділена від вихідної сировини, необхідно витратити таку ж саму частину корисної роботи в обсязі $m_j \left(\frac{M - m_j}{M} \right) \sum_{i=1}^n (x_i^j \cdot \ln x_i^j)$. Ця робота за наведеною вище схемою є не чим іншим, як відображенням частини енергії керованого потоку, на управління якою витрачається умовна одна калорія людської праці.

При загальній кількості $n = 1$ непотрібних компонентів вихідної суміші поділ до повного здійснюється в один крок, тому (див. рис. 2.21) початковий вміст

цього компонента до величини $x_1^0 = 0,5$ (при $x_2^0 = 0,5$) є граничним, що приводить до певної біфуркації, тобто невизначеної зміни масового стану відокремленої суміші m_1/m_2 такої, для якої швидкість неспадання ентропії поділу такої суміші визначається неоднозначно в межах $\Delta S/n = (-0,11) \div (-0,065)$, залишаючись при цьому помітно нестабільною. По суті, це ентропія утворення відходів.

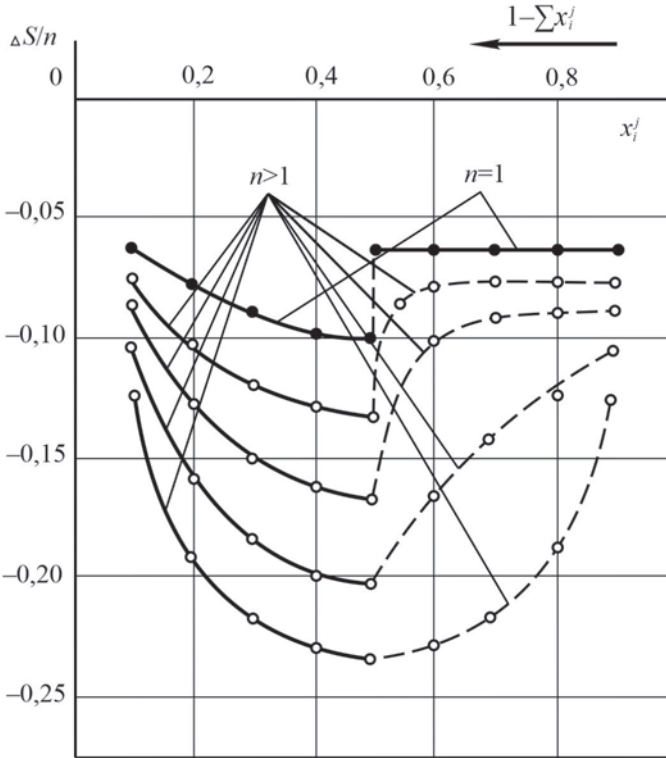


Рисунок 2.21 — Синергізм розділення сумішей як варіант поведінки з відходами у виробничих системах за координатами: швидкість неспадання ентропії, приведена до компонентності суміші $\Delta S/n$, і частка компонента у вихідній суміші x_i^j

Зі збільшенням n -компонентності в вихідній суміші ця нестійкість зростає. Тобто, чим більше «забруднена» вихідна суміш непотрібними компонентами, яких треба позбавлятися, і чим менше в ній компонентів, необхідних для створення корисного продукту, тим менш термодинамічно стійкою буде виробнича система для вирішення основної проблеми. Адже зростання неспадаючої частини ентропії поділу безпосередньо залежить від можливостей виділити з цієї суміші дійсно корисний продукт, і показує на зростання в системі внутрішнього синергізму.

Різниця швидкості неспадання ентропії в залежності від компонентності вихідної суміші пов'язана зі зміною складової $x_i^j \cdot \ln x_i^j$ для кінцевого співвід-

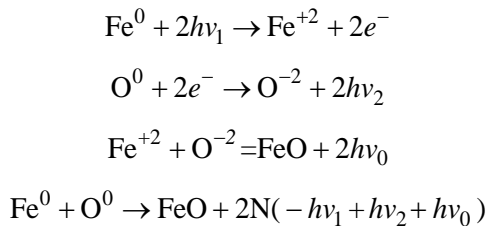
ношення $x_1^m, x_2^m, \dots, x_i^m, \dots, x_n^m$ компонентів у результаті покрокового j -розділення. Чим вища ця швидкість і, відповідно, вища впорядкованість кінцевого стану технологічного матеріалу, що відокремлюється, тим ефективніша така технологія. Отже (теоретичний результат) отримуємо стрибкоподібні зміни величини $\Delta S/n$, що відповідають пропорціям вихідних компонентів у початковій суміші (див. рис. 2.21).

Прикладом може служити металургійне виробництво, де сучасні збіднені залізні руди у вигляді механічних сумішей і хімічних сполук, такі, що

$$\frac{x_1^0}{\sum x_i^j} < 0,5, \text{ при переробці призводять до різкого зниження ефективності}$$

технологій виробництва сталі, вимагають застосування додаткових матеріалів і технологій для забезпечення необхідної якості кінцевого продукту ($j > 1$): добавки, розкислювачі тощо, деякі з яких, виконавши свої функції, також стають непотрібними і потрапляють у відходи. Ентропія таких «сумішей» буде пов'язана з конкретними фізико-хімічними процесами, а тому розрахунок динаміки ентропії буде дещо іншим.

Для фізико-хімічних процесів, що протікають в природі і пов'язані, наприклад, з утворенням оксидів заліза, можна записати:



Поєднання іонів заліза і кисню утворює молекулу оксиду заліза з виділенням світлових квантів з частотою ν_0 , що дорівнює енергії спорідненості іона заліза з іоном кисню. Цей спрощений метод може бути використаний для отримання інформації про ту частину енергії, яка витрачається в процесі виробництва на отримання відходів. За даними П. Кузнєцова, це так звана непродуктивна робота в незворотних системах.

Розуміння незворотності як термодинамічної категорії в техніці пов'язано, перш за все, з її нерівноважними станами, які відповідають за цілеспрямоване виконання головної функції — отримання корисних продуктів. При цьому функції відплати лежать в області отримання непотрібних відходів, а також в області зносу, руйнування самої технічної системи. Штучні технічні системи, які зазвичай пов'язані з виробництвом, є циклічно діючими пристроями, однією з основних функцій яких є спрямоване перетворення одних видів енер-

гії в інші з метою отримання корисних продуктів. У процесі роботи будь-яка машина втрачає свою структуру, тобто зношується. К. Трінчер влучно зауважив: «Робота машини є причиною її загибелі» [11]. При такому зносі будь-яка технічна система співвідноситься з термодинамічними механізмами зростання ентропії.

Правила систематизації існуючих технологій можуть відрізнятися, в залежності від поставлених завдань. Однак закономірності, за якими легко відрізнити один з них від інших, залишаються незмінними.

Наприклад, це стосується таких цікавих способів обробки сировини, як розділення сумішей і технологій з використанням обертального руху. Всі вони, так чи інакше, пов'язані з відходами. Таким чином, ми переходимо до технологій, заснованих на енергії обертання. Їх досить багато, але всі вони так чи інакше пов'язані з використанням кінетичної та потенційної енергії, відцентрових і доцентрових сил, ефективність яких залежить від структури та якості самої технічної системи (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 — Типові технології на основі енергії обертання

№	Вид технології	Технічне забезпечення
1	Буріння, свердління	Свердлильні та бурильні верстати
2	Механічна обробка	Фрезерувальні, токарні верстати і т. д.
3	Прання білизни	Пральні машини
4	Сепарація	Сепаратори, віджимні машини
5	Генерування електроенергії	Електрогенератори, турбіни
6	Змішування	Змішувачі, міксери
7	Шліфування, подрібнення	Обертальні млини
8	Розпушування	Вібромашини
9	Ущільнення	Сепаратори, вібромашини
10	Гвинтові кріплення	Болтові, гвинтові з'єднання
11	Технології пило- та газоочищення	Циклони
...

Збільшення ентропії в таких технічних системах — це не тільки дисипація енергії у вигляді розсіяного тепла, але і знос і руйнування машини, яка виробляє роботу. В процесі роботи технічна система обертання, за рахунок сил тертя і пружності, сприяє зростанню ентропії за рахунок безперервної самодеструктуризації. Після певної кількості машинних циклів вона знижує якість своєї діяльності, кінець-кінцем перестає діяти і виконувати свою функцію. Руйнується не тільки механізм. Знищується послідовність дій для досягнення

запрограмованої мети. При руйнуванні машини руйнується «жорстка пам'ять» цих дій. Зношуючись, технічна система ніби розчиняється в існуючому хаосі.

З точки зору еволюції, технічна система, як похідна людського розуму, являє собою конструкційно запрограмований, структурно заданий пристрій, призначений для виконання строго заданих циклічних дій, що призводять до якогось кінцевого результату. Але в той же час приводить до повільного і незворотного зростання ентропії, як міри руйнування цих систем.

Сьогодні багато технологічних процесів засновані на різноманітних ефектах, які, так чи інакше, зводяться до обертальних дій. Традиційне ручне прання з традиційними зворотно-поступальними рухами отримало дуже ефективний розвиток у вигляді обертового барабана, в якому прання, віджимання, полоскання і сушка одягу здійснюються за рахунок використання тільки відцентрових обертальних сил.

Зворотно-поступальні рухи рубанка, зубила, наждаку сьогодні успішно підмінюються обертальними рухами верстатів, ручних електричних інструментів. Для змішування різних компонентів, рідких або сухих, сипучих, багатофазних, успішно використовується ефект обертання у вигляді барабанів, що обертаються. Ущільнення речовини також здійснюється за допомогою відцентрових сил в обертових ємностях. Важливо тільки підібрати необхідну швидкість обертання і супутні технічні характеристики таких пристроїв.

Розділення сумішей — це також процедура, яка триває в обертальному русі, у вигляді центрифуг різного типу, сепараторів для розділення рідин. В їх основі лежить різна кінетична енергія частинок, що розділяються, або компонентів рідкої суміші, суспензії, механічної суміші за рахунок різної питомої ваги розділених компонентів.

Ротори електрогенераторів і електродвигунів, обертаючись у магнітному полі, дають нам не тільки одну з найякісніших видів енергії, електричну, але і забезпечують перетворення її в енергію руху, обертання і т. д.

Обертання з точки зору енергетичної ентропії є одним із найбільш привабливих і енергозберігаючих механізмів, які можуть бути використані в технологіях, термодинамічно відкритих або закритих.

Звернемося до теореми І. Пригожина: в стаціонарному стані виробництво ентропії всередині термодинамічної системи, що не зазнає змін за зовнішнім впливом, є мінімальним і постійним. Поза стаціонарним станом система змінюється до тих пір, поки її дисипативна функція не прийме мінімальне значення (М. Моїсєєв назвав її теоремою про мінімум дисипації).

Відповідно до теореми, перехід системи в новий стаціонарний нерівноважний термодинамічний стан пов'язаний не тільки з мінімаксними флуктуаціями в деяких порогових областях, але і зі зниженням енергоспоживання в результаті ослаблення дії певної термодинамічної сили F_i . Цей стан харак-

теризується швидкістю зміни ентропії $\frac{dS}{dt}$. У термодинаміці її співвідносять з кількістю тепла, що виділяється $T \frac{dS}{dt}$ в результаті деяких робочих процесів. Ця величина визначається кінетико-термодинамічними параметрами: термодинамічними силами (F_i) і термодинамічними швидкостями ($\frac{df_i}{dt}$), де f_i — поточна координата. Ці параметри ідентичні інтенсивності робочого процесу і його ємності, відповідно, через рівняння $\frac{dA_i}{df_i} = F_i$. Наприклад, для обертального руху $F_i = \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \left(\frac{df_i}{dt} \right)^2 \right]$, де dr — покровова циклічна зміна технологічного радіуса обертання r у системі. У циклічній машині з принципами обертання одним із критеріїв зростання ентропії є радіус обертання, $(r \pm \Delta r)$, який постійно змінюється і залежить від ступеня зносу обертючих деталей, в межі, що диференціюється для кожного наступного обороту від їх загального числа N за весь період роботи обертючої машини, як фактору розсіювання енергії.

Сума всіх робочих процесів, що відбуваються у відкритій системі $\sum_{i=1}^n F_i \frac{df_i}{dt}$, відображає умову стаціонарності її нерівноважного стану. При цьому теплота, що виходить від відкритої системи, визначається саме цією сумою

$$\frac{dQ}{dt} = T \frac{dS}{dt} = \sum_{i=1}^n F_i(r) \frac{df_i}{dt}. \quad (2.3)$$

Відомо, що залежність термодинамічної швидкості від такої сили здійснюється через скалярний коефіцієнт C наступним чином:

$$\frac{df_i}{dr} = CF_i(r). \quad (2.4)$$

Звідки

$$T \frac{dS}{dt} = CF^2(\tau, r). \quad (2.5)$$

Причому термодинамічна сила, в певному пороговому співвідношенні $\lim_{n \rightarrow N} (N-n) = 0$ (де n — поточне число обертів; N — максимальна кількість

обертів, при яких відбувається повне руйнування технічної системи), не повинна змінюватися в бік її посилення, тобто $F \leq 0$, а отже і $\frac{d(CF^2)}{dt} = 2CF \frac{dF}{dt} \leq 0$.

У свою чергу, для одиничного робочого процесу, пов'язаного, наприклад, тільки з обертанням, перетворення енергії цього процесу в теплову здійснюється

ся за співвідношенням $\frac{d}{dt}(T \frac{dS}{dt}) \leq 0$, що також має на увазі лише зменшення ентропії такої відкритої системи або її збереження без зростання, і вказує на наявність синергізму. Цим підтверджується теорема Пригожина для таких виробничих систем.

Крім втрат енергії, пов'язаних із тертям в осях обертання, існують втрати в технологіях обертання через сили, що перешкоджають обертанню. До них відносяться сили інерції, гравітації, відцентрові, результат яких тільки один — уповільнення обертального руху і перешкода для виконання корисної роботи. Кожна з цих сил призводить до збільшення розсіювання енергії, сприяє зростанню ентропії таких систем. Причому визначальним показником тут виступає саме швидкість зміни ентропії, а значить, і швидкість виконання корисної роботи. У літературі мало робіт у цьому напрямку, наприклад [12, 13], але вони дуже перспективні для різноманітних технологічних процесів, де є можливість замінити окремі неефективні фізичні процеси обертанням.

Таким чином, існує розуміння того, що процеси утворення відходів у технологічних системах тісно пов'язані з їх енергією, зі співвідношенням якості енергії в таких системах і використовуваної сировини, з енергетичною ентропією процесів отримання продуктів і відходів. У такому розумінні процеси утворення відходів вивчені дуже мало, і будь-які нові дані в цій галузі знань будуть актуальні. Багатовіковий досвід інженерії в різних сферах виробництва дає інформацію про предмет дослідження, якому присвячена дана монографія.

2.3. Особливості утворення відходів при використанні тарно-пакувальних матеріалів, одноразових предметів та витратних матеріалів

У даному дослідженні [14] ми практично не торкаємося питань утворення побутових відходів, оскільки їх природа істотно відрізняється від природи промислових відходів. Принаймні, те, що фактори, які мають соціально-економічну значимість по відношенню до суб'єкта утворення сміття — людини — надзвичайно великі. Однак певною мірою такі відходи мають відношення і до виробничих процесів. Зокрема, це стосується таких специфічних груп відходів, як упаковка і витратні матеріали, предмети одноразового використання, як засоби підвищення споживчого попиту на продукцію при її реалізації, засоби передпродажної підготовки товарів, що забезпечують вирішення логістичних завдань [15]. Всі ці матеріали і пристосування спрямовані, в першу чергу, на вирішення вузьких, але дуже важливих завдань, до яких відносяться:

- підвищення привабливості основного товару;

- забезпечення зручності при його транспортуванні до місця експлуатації і зниження вартості транспортних послуг;
- захист від дрібних пошкоджень, компактне зберігання;
- позначення маркування та іншої первинної інформації про продукцію.

Наслідки впливу таких відходів на навколишнє середовище дуже специфічні і несприятливі (табл. 2.9). До них відносяться, як правило, тривалий період їх природного видалення в природі, практично повна відсутність ефективних методів штучної переробки до належного стану і величезні неконтрольовані обсяги викиду в навколишнє середовище.

Таблиця 2.9 — Деякі характеристики специфічних побутових відходів (вплив на біологічні істоти) при повільному накопиченні в природному середовищі

Найменування побутових відходів	Характер загрози природному середовищу	Період природної утилізації (років)
Пластикова пляшка	Потрапляння в шлунки тварин у подрібненому вигляді	300 – 600
Електролітичні батареї	Токсична основа	1000
Паперові пакети	Харчове отруєння тварин	4 – 40 тижнів
Сigaretні недопалки	Харчове отруєння тварин	10
Картон	Всмоктуючись, чинить абразивну дію на організм	25 – 50
Пластикові пакети	Харчове отруєння тварин	35 – 60
Презервативи	Харчове отруєння тварин	30
Скляні пляшки	Тілесні ушкодження, порізи	1000
Кришка пляшкова	Потрапляння всередину в шлунки тварин	300
Харчова упаковка	Подразнення харчових шляхів, отруєння	20 – 30
Кришки з алюмінієвої фольги	Порізи та пошкодження біологічних тканин	10
Пластик	Потрапляння всередину в шлунки тварин у подрібненому вигляді. токсична основа	100 – 300
Банки жерстяні	Тілесні ушкодження, порізи	200 – 500
Дизельні та моторні оливи	Токсичні отруєння, накопичення в спорових організмах	Залежно від кількості
Гігієнічні прокладки	Харчове отруєння тварин	25
Пластикова мотузка	Токсична основа. Шлункові ураження у тварин	300 – 450

Найважливішою властивістю цієї групи матеріалів для нас є відносно короткий життєвий цикл (від виготовлення упаковки до її утилізації перед початком експлуатації основного виробу). Тривалість життєвого циклу пакувальних матеріалів безпосередньо залежить від ліквідності основного товару і вимірюється загальною тривалістю часу, витраченого на упаковку основного товару (t_1), часу зберігання основного товару на складі в передпродажний період (t_2), часу, витраченого на транспортування товару до місця використання (t_3), і періоду часу до розпакування основного товару у споживача (t_4).

$$t_{\text{жц}} = \sum_{i=1}^4 t_i. \quad (2.6)$$

Тут параметр (t_1) залежить від технології виробництва (якщо виробництво пакувальних матеріалів зосереджено у виробника) або складності продукту, що пакується. Як правило, цей параметр для штучних і одиничних виробів становить 5–7 % від загального часу основного технологічного процесу, а для потокової продукції — менше 1 % від цього часу. Параметр (t_2) визначається тільки ліквідністю основного продукту (рис. 2.22). Роль пакувального матеріалу в регулюванні тривалості транспортування основного продукту (параметр t_3) досить висока. Визначається в основному особливостями пакування, особливостями завантаження і зберігання самої товарної продукції, можливістю укрупнювати партій продукції, що завантажуються.

І, нарешті, час до розпакування основного товару у споживача (t_4) є найбільш суб'єктивним параметром, що впливає на життєвий цикл пакувального матеріалу. Це залежить від готовності споживача користуватись товаром, його планів на даний товар. Цей час може варіюватися у межах від нуля до досить великих часових інтервалів.

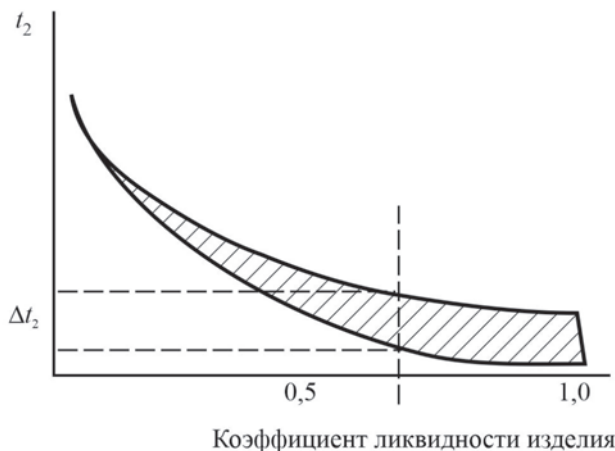


Рисунок 2.22 — Залежність тривалості передпродажного періоду упакованого товару від його загальної ліквідності

Звернемо увагу на істотне протиріччя, яке полягає в тому, що пакувальні матеріали спочатку орієнтовані на механізм підвищеної вартості, але, на відміну від основних виробів, термін їх служби тим коротший, чим вони ефективніші (рис. 2.23).

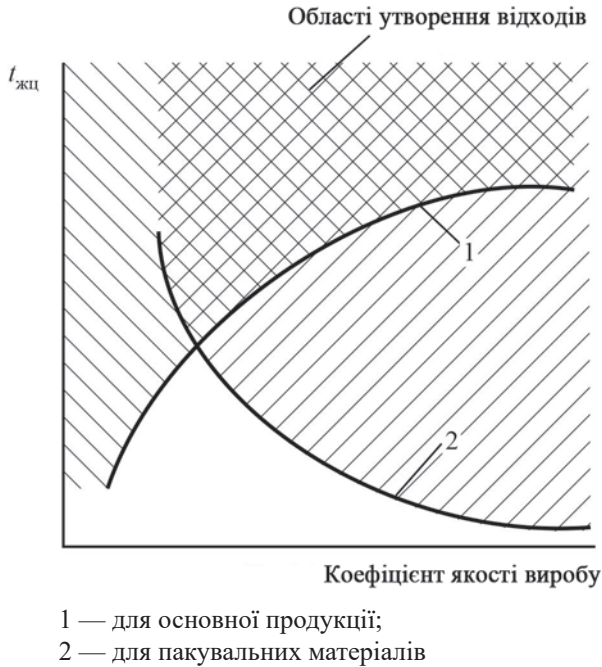


Рисунок 2.23 — Вплив якості продукції на тривалість її життєвого циклу

Виробник зацікавлений у тому, щоб товар мав «товарний вигляд», не був пошкоджений у передпродажний період, продавався швидше і дорожче. Він ставить завдання забезпечити пакувальні матеріали високою якістю (навіть якщо це вимагає додаткових трудовитрат), навмисно збільшуючи або хоча б не знижуючи собівартість основного товару, і в результаті сприяти підвищенню його ліквідності.

Це означає, що тривалість життєвого циклу упакованої продукції безпосередньо залежить від ліквідності основного продукту. Тому виробник вирішує для себе друге завдання, яке полягає в тому, щоб тривалість від виготовлення до продажу основного продукту була мінімальною. А це означає у граничному випадку у виробника $t_{жц} \rightarrow 0$.

Звернемо увагу на наступний парадокс, що закладений у роботі з пакувальними матеріалами.

Ці матеріали сприяють підвищенню споживчої цінності основного продукту, але тільки в якості додаткових відходів, запланованих у недалекому майбутньому часі, крім відходів основного виробництва.

Хіба це не жертва богу торгівлі Меркурію?

Однак навіть висока ліквідність продукту не є гарантією ідеального стану для виробника, коли $t_2 \rightarrow 0$. Завжди існує різниця Δt_2 (див. рис. 2.22), обумовлена комерційними особливостями і форс-мажорними обставинами.

Основна проблема, з точки зору відходів для даного виду продукції, полягає в тому, що обставини характеру цього явища ідеально підходять для реалізації заздалегідь спланованих механізмів утворення відходів. Вони закладаються умовами, вигідними для основного виробника, але апріорі не вигідними для навколишнього середовища. В результаті ми маємо велику кількість пакувальних матеріалів у відходах (як за вагою, так і за номенклатурою). Перш за все, звертають на себе увагу полімерні матеріали (мішки, контейнери всіх видів, обгорткові та обв'язувальні матеріали, фіксуючі, упорні та опорні елементи, необхідні для транспортування, формують та захисні матеріали тощо). Як правило, ці полімерні матеріали у великих кількостях і з коротким життєвим циклом у відходах мають дуже тривалий період природного розкладання, а тому постійно накопичуються і зберігаються іноді десятиліттями без будь-якої переробки. Сьогодні на їх частку припадає майже 20% всіх відходів життєдіяльності людини, і до 40% побутових відходів. Світове споживання полімерних матеріалів сьогодні становить 150 млн т на рік, при цьому на душу населення в Європі припадає 70–80 кг/рік, у Східній Європі — 50 кг/рік, а в Україні — 10–15 кг/рік. Майже 50% цієї кількості припадає на пакувальні матеріали, а значить, у кінцевому підсумку відправляється у відходи, яких накопичується не менше 70 млн т на рік. Вони «вічні», оскільки не розкладаються упродовж тисяч років. Це стосується в першу чергу поліетилену, поліпропілену і полістиролу, на які сьогодні припадає 70% європейського ринку пакувальних матеріалів, і з яких кожні 9 т з 10 використовуються для упаковки харчових продуктів. Найбільша кількість виробників такого матеріалу зосереджена в Німеччині (близько 1000 фірм), Італії (не менш 500) і США (понад 100 фірм). Сьогодні відомі європейські транснаціональні виробники полімерної упаковки — *Basell, Brealis, BP, Dow Chemical, Exxon Mobil, Polimeri Europa* та ін. — будують свої підприємства на Тайвані (країна входить у п'ятірку найбільших виробників пакувальних матеріалів). Бажання працювати на українському ринку пакувальних матеріалів із залученням інвестицій від лідерів Західної Європи серйозно обговорювалося на квітневій виставці «Індустрія пластмас — 2005» у Києві. Це не тільки насичення товарного ринку України особливим видом майбутніх відходів. Це впровадження в наше середовище далеко не процвітаючого виробництва і переробки. Це технології, які дають цілий букет власних відходів при полімеризації, сублімації і тому подібних процесах.

Складність виготовлення, а значить, вартість пакувальних матеріалів залежить від властивостей самого продукту і цілей, поставлених виробником.

Простежимо, як змінюється частка пакувальних матеріалів у собівартості основної продукції для різних видів виробництв (рис. 2.24). Практично завжди зростаюча форма цієї залежності очевидна, але діапазон частки витрат на упаковку в собівартості основного продукту не скрізь однаковий. Наприклад, для металургії вона в 3–6 разів менша, ніж для полімерних виробів або для упаковки скляного посуду. Це пов'язано зі значно більшою функціональністю упаковок для цих видів продукції.



1 — для металургійної продукції; 2 — для харчових продуктів; 3 — для алкогольних напоїв; 4 — для швейних виробів; 5 — для посуду; 6 — для полімерних виробів; 7 — частка відходів від пакувальних матеріалів

Рисунок 2.24 — Вартість пакувальних матеріалів у загальних показниках Частка пакувальних матеріалів у загальній масі продукції, т/т x 10⁻²

Якщо упаковка металевих виробів пов'язана тільки з забезпеченням зручності і безпеки транспортування і, як правило, виготовляється з одного і того ж металу, то харчова упаковка вимагає і зовнішнього вигляду, і захисту від зовнішніх пошкоджень, і додаткової інформації, маркування і т. д. Причому частка відходів пакувального матеріалу, що переробляються для харчової або легкої промисловості, в 2–3 рази перевищує частку відходів упаковки, що використовується для металургійних або полімерних виробів.

Ще два види планових відходів, на які людство недбало йде з метою підвищення комфорту життєзабезпечення. Вони пов'язані з виробництвом великої

кількості одноразової продукції, а також витратних матеріалів, що використовуються не тільки в побуті, але й у виробничій діяльності. Це пакети, запальнички, шприци, письмове приладдя, засоби гігієни, одноразовий посуд, одноразове взуття та одноразова нижня білизна, окремі види одягу, електроніка та фототехніка, матеріали для заправки, папір для письма, скотч і багато іншого, без чого сьогодні неможливо уявити нашу діяльність.

Основними властивостями таких виробів, з точки зору природи утворення відходів, знову ж таки є короткий життєвий цикл (від виготовлення до втрати споживчих властивостей) і запланована велика кількість цих предметів, які фактично, за короткий час, йдуть у відходи. Ці предмети не були б поганими для людини, якби не їхній, як правило, величезний післяексплуатаційний період природної утилізації і неможливість людини переробляти їх як відходи.

Основні особливості одноразової продукції визначаються однократним циклом використання без необхідності відновлення споживчих властивостей. Цим пояснюється їх низька вартість, часом на шкоду основним споживчим якостям, використання (можна сказати, зловживання, обумовлене простотою виробництва) полімерних матеріалів, значне розсіювання в навколишньому середовищі в післяексплуатаційний період і необхідність додаткових зусиль для їх збирання у вигляді відходів.

Розглянемо, як впливає умовна кількість одиниць одноразової та багаторазової продукції (N_0 і N_n , відповідно) за групами товарів з вартістю (знову ж таки, умовним поділом) до \$10, до \$100, до \$1000 (рис. 2.25) за певний умовний проміжок часу, що йде на утворення відходів. І порівняємо ці залежності зі зміною життєвого циклу цих виробів. Очевидно, що одноразовий обсяг виробництва одноразової продукції значно перевищує цей показник для виробів того ж призначення, але багаторазового користування. Це пов'язано зі значно більш високими темпами виробництва одноразових виробів (за рахунок простоти їх виготовлення), ніж для виробів багаторазового використання.

В якості умовного показника післяексплуатаційного утворення відходів для такої продукції візьмемо параметр $M = N / t_{\text{жц}}$. Він являє собою своєрідний індекс попиту на товар протягом його життєвого циклу. Розрахунки показують, що для виробів із зазначеною вартістю діє індекс $M_n \ll M_0$ (див. рис. 2.25). Це вказує на те, що одноразова продукція сприяє значно більшому післяексплуатаційному утворенню відходів, ніж вироби багаторазового використання. Різниця між цими показниками може виражати рівень людської розплати перед природою за комфорт або зручність при використанні цих виробів.

Сьогодні можна сказати, що індустрія пакувальних матеріалів і виробів одноразового використання впровадила в навколишнє середовище цілком специфічний вид відходів, який має свої властивості і механізми утворення. Вони безпосередньо пов'язані з комерційними показниками виробника основної продукції.

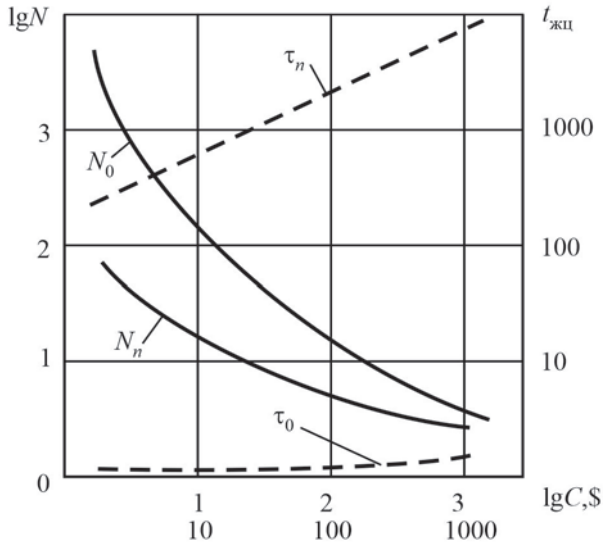


Рисунок 2.25 — Співвідношення умовної кількості одиниць продукції одноразового («0») і багаторазового («n») використання вартістю: $C < \$10$; $C < \$100$; $C < \$1000$ в порівнянні з тривалістю їх життєвого циклу

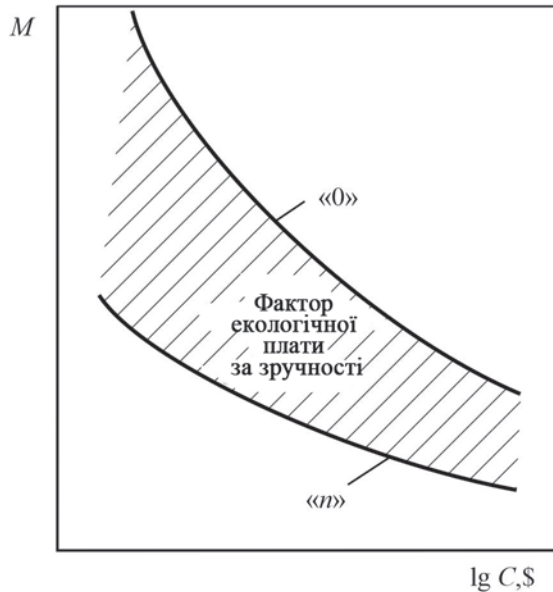


Рисунок 2.26 — Порівняльна оцінка відходів життєдіяльності після експлуатації виробів одноразового («0») і багаторазового («n») використання.

Важливою властивістю цих відходів є їх величезна кількість, короткий життєвий цикл в якості допоміжного продукту, проблеми з концентрацією цих

відходів і найчастіше — складність природного видалення. Це порушує природний принцип, викладений у законах Б. Коммонера, згідно з яким «... для кожного елемента в природі повинен бути певний фермент або певна технологія його утилізації». Технології створення пакувальних матеріалів і одноразових предметів найчастіше суперечать основним природним принципам, а їх творці повністю ігнорують основні екологічні закони. Саме цим обумовлені зусилля численних громадських і міждержавних організацій, спрямовані на створення норм і законів, що обмежують можливості виробників виробляти одноразові матеріали без можливості їх утилізації.

В цілому група факторів, що визначають механізм утворення відходів у виробничих системах, може бути значно розширена за рахунок більш глибоких досліджень властивостей речовини. Такі дослідження можуть носити світоглядний характер і не є предметом вивчення в даній роботі.

ГЛАВА 3

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ «ЛЮДИНА – ПРОМИСЛОВІ ВІДХОДИ»

-
-
- 3.1. Біоенергетичні основи предмета дослідження
 - 3.2. Управління ризиками при поводженні з промисловими відходами
-
-

3.1. Біоенергетичні основи предмета дослідження

Вивчаючи процеси утворення відходів, неможливо обійтися без вивчення фундаментальних принципів людської трудової і ремісничої діяльності, включаючи біологічну сутність людської праці, повторюючи при цьому, що корисний продукт і відходи є двоєдиною й нерозривною складовою системи виробничих матеріальних відносин у суспільстві.

Життєдіяльність біологічних організмів, в тому числі і людини, являє собою складну систему окислювальних і відновних хімічних реакцій, основним принципом якої є енергія орбітального перенесення електрона в атомі, пов'язаного, в першу чергу, з випромінюваною енергією Сонця. Молекула речовини здатна приймати тільки ті фотони, які відповідають її спектру поглинання. Мова може йти про так звані резонансні фотони. Якщо резонансний фотон відповідає частоті фотоефекту, то є основа для хімічного процесу. Енергія фотона перетворюється в енергію електрона, який піднявся на більш високий орбітальний рівень і став більш хімічно активним.

У найпростішому вигляді енергія електронного потоку, викликаного фотонним випромінюванням Сонця, зберігається в результаті їх строго впорядкованого руху в малих біомасах — рослинах, мікроорганізмах, клітинах, частинах цих клітин, особливо в мітохондріях, що дає системні можливості для виникнення інших видів енергії в рослинних та інших біологічних системах за рахунок пе-

перозподілу цієї «переробленої» сонячної енергії, в тому числі для зародження і підтримки життя. У спрощеному для розуміння випадку сенс енергетичного циклу біологічного життя полягає в тому, що завдяки постійному поповненню від фотонного випромінювання електрони спочатку піднімаються на більш високий рівень своїх атомних орбіт, а потім, у живих системах, опускаються на попередній рівень, віддаючи таким чином свою надлишкову енергію, що забезпечує роботу всього ланцюга в системі поступального життєзабезпечення [1].

Тому життя може здійснюватися тільки за допомогою елементів, здатних сприймати фотони, переводячи їх енергію в енергію електронного збудження з відносно тривалим часом збереження цього збудження. Зокрема, це хлорофіломісні фотосинтезуючі рослини або автотрофні мікроби, які виконують ряд унікальних функцій. Перша з них відноситься до здатності самої біосистеми *сприймати енергію*. Потім ця енергія перетворюється в енергію хімічних зв'язків, які покликані виконувати ще одну функцію — накопичення енергії, яка згодом передається по харчовому ланцюжку від фотоавтотрофів через гетеротрофів до деструкторів, що виконують третю функцію — *зв'язок і транспортування енергії*. При цьому життєво важливий суб'єкт повинен відтворювати свою структуру незважаючи на постійні хімічні перетворення, мутації і загибель особин, тобто виконувати тривалу функцію *спадковості*.

У найпростішому наближенні саме ці біоенергетичні ланцюжки лежать в основі мотивації людської праці як однієї з основних соціальних парадигм (табл. 3.1).

Тваринний світ, до якого слід віднести людину, як енергетичну машину, сам по собі не володіє властивостями системного і тривалого автономного життєзабезпечення. Споживана всередині такого організму енергія є похідною від енергії, накопиченої зеленими хлорофіломісними рослинами, які в свою чергу отримують її виключно від основного джерела на Землі — Сонця. Сам по собі тваринний світ не здатний отримувати цю енергію. Але людина навчилася використовувати сонячну енергію в її основних проявах на Землі, вже завдяки своїй трудовій діяльності. Неважко довести, що додатковий продукт — це цілком певна похідна від сонячної енергії, тієї енергії, яка опосередковано присутня в найрізноманітніших формах у виробничій діяльності людини.

Рослини і тварини, в тому числі і людина, являють собою складні енергохімічні системи, що перебувають у постійно нестабільному енергетичному стані з дуже низькою структурною ентропією. В їх основі лежать сильно нерівноважні процеси організації і самоорганізації енергетичних потоків, якими володіє людина і які спрямовані на подолання дисипативних енергетичних відносин у природному середовищі. У зв'язку з цим радянський біолог Е. С. Бауер виділив три основні риси живих систем: 1) спонтанна зміна стану, що дозволяє акумулювати енергію в цих системах; 2) протидія зовнішнім силам, що призводить до зміни початкового стану навколишнього середовища; 3) *постійна робота проти сил, що прагнуть до рівноваги з навколишнім середовищем* [2].

Таблиця 3.1 — Форми енергетичних перетворень в ланцюзі трудовитрат

	Показники	Ентропія	Блок-схема алгоритму
0	Джерело енергії <u>Сонце</u> E_0 — енергія сонячного випромінювання		
1	Фотосинтез $h\nu$ — енергія спорідненості E_{FS} — енергія накопичення	$+\Delta S \downarrow$	
2	Рослинна біомаса		
3	<u>Тваринний білок:</u> – траводні тварини – м'ясоїдні тварини		
4	Людина: (e_{ch} — м'язова енергія E_{cro} — енергія хім. реакцій окислення)		
5	<u>Елементарний труд</u> (робота із самозабезпечення) (e_{ch} — м'язова енергія людини)	$+\Delta S \downarrow$	
6	<u>Засвоєння зовнішнього енергетичного потоку</u> I роду E_I — м'язова енергія тварин E_{ch} — керуючий вплив	$+\Delta S \downarrow$	
7	<u>Цілеспрямована системна праця</u> «P» — продукт роботи «O» — відхід	$+\Delta S \uparrow$	
	Виробництво корисної продукції «P»	$+\Delta S \downarrow$	
	Виробничо-технічна система E_{II} і E_{III} — зовнішні енергетичні потоки II і III родів	$+\Delta S \downarrow$	
	Виникнення відходу «O _{II} »	$+\Delta S \uparrow$	
	Виробництво вторинної корисної продукції «P _v »	$+\Delta S \downarrow$	

Останнім вектором до сильного порушення рівноваги в таких системах, на думку вченого, забезпечується принцип мінімальної дисипації (за М. М. Моїсеєвим) або закономірність зростаючої швидкості падіння ентропії (за П. Г. Кузнецовим), чим, всупереч другому закону термодинаміки, досягається необхідний рівень організації в біологічній природі. Праця, як енергетична складова, грає в цих процесах виключно важливу роль.

Далі процитуємо С. А. Подолинського: «На землі рослини виступають, як найлютіші вороги розсіювання енергії у світі» [3]. Тому що вони акумулюють якісну енергію сонця і перетворюють її в харчову біомасу для енергозабезпечення наступного ланцюга біологічних істот, забезпечуючи умови для синергізму ($+\Delta S\downarrow$). Подібну ж роль С. А. Подолинський відводить і людській праці в суспільстві: «Праця — це така витрата механічної і розумової роботи, що накопичена в організмі, яка має результатом збільшення кількості перетворюваної енергії на земній поверхні». Додамо: «... і зростання синергії». Але ми вже знаємо, що праця — це не тільки основа отримання готової продукції, а й основа для отримання паралельного потоку відходів.

Відомо, що кількість прихованої хімічної енергії, накопиченої в організмі людини, становить в середньому 4 ккал на кожний грам живої ваги. Для людини вагою 80 кг запас прихованої хімічної енергії повинен становити не менше 320 тисяч ккал. В стані спокою організм, для підтримки життєдіяльності, втрачає близько 2200 ккал/добу цієї енергії. Він змушений щодня витратити ще 2000 ккал для того, щоб отримати їжу, хімічну енергію і сили відновити свої перші 2200 ккал шляхом цілеспрямованого впливу на природу. Якщо ці 4200 ккал енергії свого організму людина компенсує щодня активною і цілеспрямованою діяльністю, то таку діяльність і таку енергію П. Кузнецов називає доцільною [4], завдяки якій людина здатна існувати біологічно. Це так звана елементарна праця, з витратою чисто людської енергії (e_{ch}), необхідної лише для підтримки біологічної сутності людини (табл. 3.1) та її мінімальних потреб.

Умовна «енергетична ефективність» такої роботи, як відношення корисної енергії до її витрат, повинна дорівнювати 200%. Такий показник у літературі найбільше відображає вільне трактування ефективності, наприклад, показує, наскільки добре ця система виконує свою функцію (наскільки добре вона відповідає своєму призначенню), або відображає відносини людини з виробничими об'єктами, її місце в них [5].

Оскільки опосередковані витрати 4200 ккал не забезпечують постійно зростаючих потреб людини, виникає потреба в інших джерелах енергії: вогні, енергії приручених тварин (в ретроспективі ми будемо називати їх енергетичними потоками першого покоління E_I (табл. 3.1), а потім — енергії падаючої води або вітру, пари, вуглеводнів, енергії атома, що розпадається (в ретроспективі — енергетичних потоках другого покоління E_{II} (табл. 3.1) і т.д., за допомогою яких людина може отримати нові вигоди, які раніше були їй недоступні. Це основа

для необмеженого розвитку трудової діяльності і перетворення її в сенс життя багатьох людей, підпорядкувавши цьому значенню багато інших аспектів фізичної та соціальної активності.

Вивчаючи енергію процесів утворення відходів, не можна обійти стороною актуальну тему термодинамічних аспектів праці. Нескладно стверджувати, що відходи — це не тільки фізична, але і соціально-економічна категорія одночасно. Це подвійне розуміння, яке дрейфує між цими двома якостями, приймає на себе властивості, які є або технічними, або соціально-економічними. Це підкреслює принцип подвійності і нероздільності людської праці щодо отримання продукту й отримання відходів. Зокрема, досить повно говорила про це у своїй роботі Є. Єрохіна [6]. У той же час відходи також мають чисто ентропійне відображення в природі, як її об'єктивна складова.

Другий закон термодинаміки трактується як закон розсіювання, дезорганізації, руйнування вихідної структури. У суспільстві, в біологічних системах, навпаки, закони еволюції пов'язані, перш за все, з ускладненням, самоорганізацією. Звичайно, ці дві термодинамічні інтерпретації мають право на існування і не суперечать одна одній. Не можна з упевненістю сказати, що такі самоорганізуючі системи не мають місця в неживому світі. І. Пригожин [7] переконливо доводить, що низка законів, якими користуються вчені у природничих науках, одна й та сама. Різниця лише в тому, в якому стані знаходиться ця термодинамічна ситуація. Наскільки вона далека від стану рівноважності. Дисипація, руйнування фізичних структур відбувається, як правило, поблизу термодинамічної рівноваги. Створення систем, їх структурування відбувається далеко за межею термодинамічної стійкості. Тому одна і та ж система може мати як властивості дезінтеграції, так і властивості організації в залежності від її відношення до стану рівноважності [8]. Досить точно висловився Спенсер: «Еволюція — це інтеграція матерії і супутня їй дисипація руху».

Тут слід звернутися до роботи С. А. Подолінського [3], який першим у світі визначив доцільну еколого-господарську діяльність людей як процес, що протидіє розсіюванню енергії, і показав, що праця — це діяльність, яка пов'язана з регулюванням енергетичних потоків.

І. Пригожин показує, що найважливіші біохімічні процеси в організованій речовині відбуваються поза стійкістю термодинамічної гілки. Якісно такі висновки стосуються як конструктивних, так і руйнівних процесів, які супроводжують будь-яку виробничу систему. Якщо вектор організації за умовами такої термодинамічної гілки спрямований на створення запрограмованих продуктів і ця частина такої виробничої системи далека від рівноважності, то та частина системи, яка відповідає за отримання відходів у довільному вигляді, розташовується поблизу рівноважного стану системи, де відсутня вільна енергія для системного перетворення частини сировини, що утворює відходи.

Таким чином, можна сказати, що будь-яка виробнича система має право мати певне різноманіття термодинамічних гілок, в тій чи іншій мірі виведених зі стану рівноважності. Та частина, яка відповідає в системі за отримання запрограмованого корисного продукту, має властивості сильної нерівноважності. І навпаки, та її частина, яка відповідає за довільне перетворення частини сировини, що відповідає за створення відходів, відноситься до слабо нерівноважної термодинамічної гілки.

Давно показано, що біохімічні процеси, що відбуваються в живій матерії, далекі від основ другого закону термодинаміки, хоча і не суперечать йому. Великий В. І. Вернадський використовував положення другого закону термодинаміки в своїх дослідженнях історії земної кори, підкреслюючи, що всі процеси поза явищами земного життя строго підкоряються цьому закону. Але в той же час динаміка геологічних формацій, що супроводжуються зміною видів, іншими біологічними явищами, не підкоряються розглянутому закону. Вчений робить об'єктивний висновок про те, що: «У сукупності тварин і рослин вся жива природа є природним явищем, яке суперечить за своїм ефектом, у біосфері, принципу Карно в звичному для нього формулюванні».

У 1856 році Л. Больцман в доповіді про другий закон термодинаміки показав, що загальна боротьба за існування живих істот — це *боротьба за якісну енергію*, яку можна отримати і використовувати при переході сонячної енергії на Землю. Щоб використовувати цю енергію, перш за все, рослини намагаються розвинути «незмірно величезну загальну поверхню свого листа» і змушують сонячну енергію «до того, як вона впаде до рівня температури земної поверхні», виконати деякі хімічні синтези, про які в дослідженнях того часу ще не мали жодного уявлення. Продукти цієї хімічної лабораторії є предметом конкуренції в біологічному світі у вигляді їжі, калорійність якої по ланцюжку піднялася від рослинної біомаси до травоядних, від травоядних до хижаків і далі, до творців (людини) та її висококалорійної білкової їжі. Для володіння цією калорійною їжею необхідно витримувати конкуренцію, яку Дарвін назвав боротьбою видів.

Пізніше М. О. Умов у своїй доповіді на XI з'їзді природознавців у 1901 році зробив спробу сформулювати контрверсійний третій закон термодинаміки, в основі якого лежала б термодинаміка розвитку живої природи, що підкоряється законам мінімізації дисипації, як основи еволюційної синергії цієї частини природи.

Продовжуючи ці висновки, необхідно вважати соціально-економічну діяльність людини, в тому числі й її виробничу діяльність, як один із проявів цих закономірностей і таким чином ставитися до них.

У людському суспільстві, що формувалося віками, одним із механізмів виживання в умовах такої конкуренції була цілеспрямована систематична *праця* (табл. 3.1), саме те, що і відрізняє людину від інших біологічних істот. Це те, що давало перевагу в тваринному світі — сила і витривалість особин і різних видів між собою, в людському суспільстві отримало якісну заміну у вигляді конкуру-

ючої праці, в тому числі колективної: високопродуктивної або менш ефективної. І виживання, і прожиткові ресурси, і збагачення, і соціальний статус, і влада в суспільстві тепер стали вимірюватися не тим, наскільки фізично сильний конкретний індивід, а тим, скільки результатів навіть не індивідуальної, а сукупної праці належить йому. В тому числі, чужої, що привласнена ним. Це, крім соціальності, підкреслює таку цікаву властивість праці, як її диференціація і штучність результатів.

Найважливіший показник для розуміння *енергетики праці*, а саме енергетичний бюджет *суспільства* — це поняття, яке було введено, в тій чи іншій мірі, послідовно в роботах С. Подолинського, Г. Алексєєва, П. Кузнєцова. Це кількісне поняття праці як сукупних і зарезервованих енергетичних витрат, результатом якого є зростання накопиченого енергетичного потенціалу суспільства в цілому [9]. Поняття людської праці, як способу концентрації енергії, як джерела синергетичних процесів у природі, пов'язане із так званим сукупним енергетичним бюджетом суспільства [3].

Класика: на одну калорію людської праці, витраченої в сільському господарстві, в циркуляції, як правило, задіяно в обороті до 40 калорій сонячної енергії. За іншими даними, в сільському господарстві калорійність витраченої людської і кінської енергії складала 8 калорій у вигляді зерна, що вирощено, і 14 калорій у вигляді соломи за рахунок притягнутої енергії сонця [3]. Іншими словами, зовнішня енергія сонця, «притягнута» за допомогою енергії людини, давала людині 36% витраченої корисної енергії (зерно) і 64% енергії для отримання непотрібних відходів у вигляді соломи. При цьому умовна енергетична ефективність чисто людської праці вимірюється як 800%, а ефективність відходів виробництва — 1400%. Нехай це стане відправною точкою для нашого подальшого обговорення про відходи.

Трудовий процес завжди пов'язаний із витратою енергії. Причому в конкретних результатах процесу отримання корисних продуктів енергії зосереджено набагато більше, ніж було витрачено особисто людиною. Але ж, в тому числі, для виробництва відходів. Це означає, що відходи є відображенням таких саме обмежувачів синергетичного розсіювання енергії, як і корисні продукти, отримані в результаті запрограмованої і цільоспрямованої праці? Іншими словами, те, що називають відходами, як і корисні продукти, по суті є відображенням результатів одних і тих же людських дій, людської праці. Але чомусь ці результати стають людині непотрібними. Це психологічний і економічний аспект, який ставить бар'єр між товарною продукцією і самими відходами. Перед нами відхід, це рівноправний продукт, на виробництво якого витрачена енергія, видобуто первинну сировину, витрачено дорогоцінну людську працю. Тільки він нікому не потрібен? Абсурд!

У 1958 році американський економіст Г. В. Ченері дав наступну формулу виробництва: «Для економіста «виробництво» означає все, що робиться з об'єк-

том або групою об'єктів з метою збільшення їх первісної вартості ...! Основною фізичною умовою, необхідною для здійснення будь-якої з цих змін, ... є застосування зовнішньої енергії в тій чи іншій формі. В результаті відбувається зміна форми енергії в системі. Використання енергії є загальним як для концепції виробництва, що бачиться економістом, так і для концепції виробництва, що бачиться інженером» [10]. Уявімо таке, що переважна частина переробленої сировини, що пов'язана з виробничою діяльністю, перетворюється в результаті у відходи. По суті, відходи — це та ж, змінена форма стану частини компонентів сировини, але, на відміну від основного продукту, вироблена без збільшення її кінцевої вартості. А чому ж нікому не спадає на думку змінити якість і вартість цих відходів, суб'єктивно надати їм більшої споживчої цінності? При цьому, змінюючи технологію, технічну систему, яка її забезпечує. Витративши для цього трохи іншу роботу, використовуючи енергію іншої якості (енергетичні потоки умовно третього покоління (E_{III})), ми повинні (на думку Г. В. Ченері) отримати відходи з більш високим ступенем споживчих якостей, зробивши їх вторинним корисним продуктом (P_b) (табл. 3.1). І, таким чином, вирішити проблему відходів. Хоча б в якійсь мірі, не доводячи ситуацію до вищезгаданого абсурду. Незрозуміло, де взяти ці інші джерела енергії? Спробуємо розібратися.

Праця поступово стала асоціюватися з тією енергією людини, яку необхідно було витратити для того, щоб управляти деякими зовнішніми матеріальними й енергетичними потоками, які їй були необхідні для виробничого процесу [3, 9]. Саме для цієї людської енергії необхідно підбирати, у вигляді керованого, якість зовнішнє джерело енергії (E) (табл. 3.1). Людині залишається за допомогою якихось штучних технічних засобів і способів змусити це зовнішнє джерело енергії робити те, що потрібно самій людині. Таким чином досягається ефективність людської праці. Те ж саме стосується і зовнішнього потоку матеріалів, натуральних або заздалегідь підготовлених людиною.

П. Кузнєцов характеризує трудову діяльність людей як нееквівалентний обмін енергією з природою, в результаті якого повинен збільшитися загальний енергетичний бюджет суспільства (в термінології Г. Алексєєва — негентропія). Його можна розрахувати як відношення зростання негентропії до зовнішнього енергоспоживання. Додаймо, що саме цей результат призводить до синергізму і мінімізації зростання ентропії, тобто до продуктивного результату людської праці. Але в рамках цієї негентропії є ще один рівноправний учасник цих процесів — відхід. Отже, його первинна сутність все-таки є раціональною?

На думку Г. Алексєєва [11], для управління зовнішніми енергетичними потоками завжди необхідна менша кількість енергії, ніж містять її ті самі потоки, які управляються. Таким чином, працю людини можна розглядати як певний збуджуючий процес з боку енергії людини, (e_{ch}) який змушує зовнішні енергетичні потоки $E_I, E_{II}, \dots, E_{III}$ функціонувати інакше (табл. 3.1). У П. Кузнєцова наводиться приклад: «стародавня людина, щодня і цілеспрямовано витрачає

$e_{ch} \cong 10$ тис. кДж м'язової енергії, і в результаті отримувала від природи у вигляді продуктів збирання, полювання і т.д. не менше $E_1 \cong 20$ тис. кДж енергії. Можна оскаржити порядок чисел, але важливо інше. Автор наполягає на тому, що це можливо тільки в тому випадку, якщо людський організм має деякий логічний перемикач, механізм якого включає процедури запам'ятовування послідовності дій м'язів для досягнення зовнішнього результату й емпірично визначає повну величину енерговитрат і ефективність витраченої праці, і порівнює її потреби і можливості [12].

Таким чином, цей «перемикач» свідомо контролює як енергетичні потоки, так і матеріальні потоки, в тому числі, запевняємо, змінюючи стан відходів. Саме він повинен отримати «завдання» *модифікації зовнішнього енергетичного потоку з цілеспрямованим акцентом на дії щодо збільшення цінності того, що виходить у вигляді матеріальних відходів*. Важливою є умова про необхідність цілеспрямованої модифікації зовнішнього енергетичного потоку.

До сих пір такі завдання не стояли перед людиною. Всі методи переробки відходів, їх утилізації — це вже постфактум, коли відходи стали реальністю. Але в світлі вищесказаного можна поставити завдання запобігання утворенню відходів у процесі виробничої діяльності, модифікації енергетичного сектора і впорядкування сировинної бази технологічного процесу.

Можливості технологічної енергетики з методологічної точки зору в літературі вивчені слабо. Як правило, якщо енергія використовується в технологічному процесі, то це тільки її пряме призначення: постійне або змінне електричне поле, нагрівання або охолодження, прямі хімічні реакції або вибух, кінетична, потенційна енергія певного навантаження або обертовий інертоїд — накопичувач енергії. Рідко в одному й тому ж технологічному процесі використовується одна й та ж енергія в різних її модифікаціях. Ще рідше використовуються два різних, але узгоджених джерела енергії. Результат найчастіше один — *цілеспрямована переробка тільки тих компонентів сировини, які представляють інтерес для виробника, й одночасна рівноцінна за фізичними та іншими явищами переробка решти сировинної бази тими ж самими джерелами енергії, що перетворюють їх у непотрібні відходи*. Але іноді лише незначно змінена енергія дозволяє впливати на інші компоненти сировини, перетворюючи їх у корисні продукти (P_b), (табл. 3.1).

Зручний інструмент для таких варіантів надає теорія рішення винахідницьких задач (ТРВЗ) і її засновник Г. С. Альтшуллер, який вчить використовувати різноманітні модифікації відомих енергетичних полів [13].

При управлінні енергетичними потоками не слід забувати про їх якісну сторону. У технологічному процесі значення енергетичного поля збільшується в залежності від його ефективності за наступною лінією (від простого до складного):

- механічна енергія;
- теплова енергія;

- енергія хімічних взаємодій;
 - електрична енергія;
 - енергія магнітних полів;
 - енергія ядерного поділу;
- тощо.

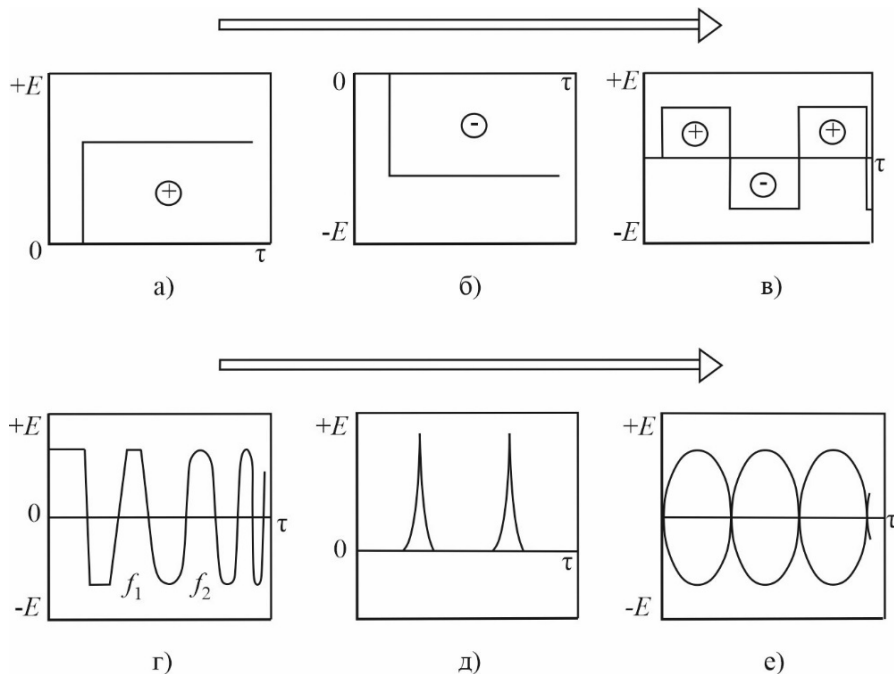
Проміжні ніші займають види енергетичних полів, такі як термомеханічна, термохімічна, електрохімічна, електростатична, електромеханічна, електромагнітна та інші види енергії. Всі вони, так чи інакше, можуть брати участь у конкретному технологічному процесі в залежності від його умов і внутрішніх ресурсів. Кожне з цих енергетичних полів має величезну кількість модифікацій [13], які потрібно навчитися використовувати в залежності від умов конкретного технологічного процесу.

Цікаві результати дає лінія розвитку технічних систем у напрямку підвищення ефективності однотипної енергії або енергетичного поля. У ТРВЗ це послідовний перехід від дії поля постійного знаку до поля протилежного знаку, потім до комбінації полів прямих і зворотних знаків і переходу в систему, зі знакозмінним енергетичним полем. Знакозмінне поле, в свою чергу, можна посилити в потужності, перемикаючись на енергетичні поля з більш високою частотою (широта частотного діапазону дозволить отримати безліч цікавих результатів). Наступним кроком підвищення ефективності енергетичного поля є надання йому форми імпульсу. І останній етап — використання резонансних частот енергетичного поля, узгоджених з власними частотами компонентів сировинної бази, які переробляються в даному технологічному процесі (рис. 3.1). Ми навмисно не ілюструємо цю частину роботи, відсилаючи читача до першоджерел [13, 14, 15, 16].

Зрозумілим і ефективним є метод узгодженості і контрольованої неузгодженості відповідних джерел енергії і стану компонентів сировинної бази, як спосіб впливу на всі компоненти сировини. Зокрема, використання резонансних полів можливе тільки в тому випадку, якщо частота такого поля узгоджена, наприклад, із розмірами частинок конкретного компонента, що входить до складу сировини. ТРВЗ також пропонує варіанти розробки технічної системи або технологічного процесу у вигляді відповідної лінії (рис. 3.2). Система може послідовно проходити стадії розвитку від неузгодженості окремих ланок, включаючи їх енергію, до примусової узгодженості в одній, двох або трьох координатах, і, поступово доводячи до умов динамічної узгодженості-неузгодженості, отримувати абсолютно нові способи переробки сировини в умовах існуючого виробничого процесу. Необхідно лише навчитися застосовувати ці лінії розробки технічних систем.

У монографії (гл. 11) пропонуються також інші методичні засоби ТРВЗ, які можуть бути легко адаптовані до науково обґрунтованих розробок в області максимально можливої переробки компонентів сировинної бази в умовах конкретного технологічного процесу, такі як координація взаємодії інструменту і продукту за лініями підвищення ефективності енергетичного поля, узгоджен-

ня ритму обробки, дроблення частин технічної системи і послідовний перехід на мікрорівень, молекулярні рівні і навіть нанорівні тощо [13]. Це передбачає залучення до технологічного процесу більш глибоких властивостей самих технічних систем і абсолютно нових способів переробки різноманітної сировини, використовуючи внутрішні ресурси самого технологічного процесу.



- а) енергетичне поле постійного знаку; б) поле протилежного знаку;
- в) знакозмінне енергетичне поле; г) високочастотне змінне поле;
- д) імпульсне енергетичне поле; е) резонансне частотне поле.

Рисунок 3.1 — Лінія розвитку характеристик енергетичного поля, задіяного в технологічному процесі

Всі ці методи управління енергетичними потоками цілком реальні, автор неодноразово й успішно застосовував їх на практиці з високим ступенем ефективності. Загальним завданням є використання власних ресурсів конкретної виробничої системи, технологічного процесу, який в неї закладений, і технічної системи, призначеної для реалізації даного технологічного процесу, для забезпечення найбільш повної й цілеспрямованої переробки всіх компонентів сировини в продукцію, яка мала б споживчу цінність для людини.

І ще.

Всі живі організми мають *уявний* ККД, більший 100% [3]. Тому що енергія, яку вони витрачають на обмін речовин, завжди менша, ніж накопичена проме-

ниста енергія сонця. Якби рослина не накопичувала енергію сонця, не було б калорійності харчування. І так далі за ланцюжком.



Рисунок 3.2 — Лінія розвитку технічної системи в напрямку її узгодження

Такий уявний ККД як критерій ефективності роботи людини також може вважатися очевидним і перевищувати 100%. Однак об'єктивно ККД будь-якої технічної системи завжди буде менше одиниці, якщо в якості потужності використовувати, наприклад, потужність природного енергетичного потоку. Але тільки не для такої біосистеми, як людина.

Відомий приклад. Вітрильний потік. Пошиття вітрила, як продукт людського ремесла, з точки зору енергетики, нікому не знадобилося б, якби не енергія E_{Π} , яку вітрило, зшите в певній формі і розміщене на кораблі, забирає від вітру. Ця енергія виявляється набагато більшою, ніж кількість людської енергії e_{ch} , витраченої на її пошиття, і при цьому величезний корабель під цим вітрилом розвиває такі зусилля, які не йдуть ні в яке порівняння з енерговитратами на створення самого вітрила. Тому такий уявний ККД вітрила становить понад 100%.

Витрата однієї калорії, витраченої людиною на приготування більш якісної їжі, робить цю їжу більш засвоюваною, більш калорійною, дає набагато більше сил людині, що споживає її, ніж та сама найперша витрачена нею калорія. Уявний ККД більше 100%.

Людина шие одяг, витрачаючи на цю роботу набагато менше енергії, ніж заощадить її потім при носінні цього одягу, зберігаючи тепло власного тіла. Те ж саме стосується і житлового будівництва. Уявна енергоефективність більше 100%.

Енергії на інтелектуальну працю, яку людина буде витрачати на створення керуючих комп'ютерних програм, буде незмірно менше, ніж ці програми будуть заощаджувати енергії в подальшому на оптимальних режимах виконання деяких технологічних процесів. Саме тому, така праця в суспільстві цінується набагато вище, ніж праця робітника або простого інженера. Її очевидна енергоефективність значно перевищує 100%.

І при будівництві вітряка витрачена праця була відповідною до всієї людської енергії e_{ch} , в сумі набагато меншою, ніж енергія вітру E_{II} , яка потім буде перетворена в корисну роботу за допомогою цього вітряка.

Для розрахунку подібного ККД греблі зазвичай за основу береться не робота, яку виконала людина, а потужність падаючого потоку води. І ККД греблі, в чисельнику якого буде електрична енергія, завжди буде менше одиниці. Але якщо подивитися на це по-іншому? Людина знайшла якийсь природний потік енергії, E_{II} в даному випадку — потік енергії падаючої води, і також за допомогою придуманої і створеної нею технічної системи (колеса, турбіни, генератора) змушувала цю енергію перетворюватися в форму, зручну для використання людиною (електрична енергія, а потім електродвигуни, транспорт, системи освітлення і т.д.). Витрачаючи на це власну енергію e_{ch} у відносно невеликому обсязі. Тоді енергоефективність такої системи складе набагато більше 100%. І так є завжди.

Всі подібні ефекти посилення потужності, що досягаються за рахунок використання характерної людської праці, можливі тільки тому, що людині вдалося досягти керуючого ефекту для розвитку природного джерела енергії, будь то енергія вітру або падаючої води, енергія вуглеводню або атомного ядра. Потужність цього контрольованого потоку енергії завжди буде незмірно вища, ніж енергетична потужність людської праці, яка його організовує.

Чи настільки важлива калорія, що витрачається людиною?

Якщо її немає, то вищезгаданий злак у степу все одно буде рости, отримавши свою порцію енергії E_{FS} від сонця. В наступному цей злак благополучно розсиплеться у вигляді зерен, мимовільно, самосівом у майбутньому дасть життя іншим злакам, а його солома загніє у вигляді стерні, просочуючи (або удобрюючи, як вам більше подобається) ґрунт своїми вихідними мікроелементами: азотом, фосфором і т.д. Де ж тут відходи? Їх немає. Всі компоненти вирощуваного злаку «задіяні». *Всі утилізуються протягом життєвого циклу* самого натурального «продукту» — злаку або іншого рівноцінного природного «продукту» — добрива у вигляді гниючої соломи. І все це під впливом одного джерела енергії — сонячної. Причому ця технологія в своїй простоті повторюється щорічно. І, що дуже важливо, без присутності людини.

Але потім з'явилася людина і привнесла в цей природний процес одну калорію своєї особистої праці, витраченої на обробку поля, посів попередньо оброблених і більш продуктивних злаків, на відстеження їх зростання і подальший збір врожаю. Але при цьому людина розділяє зерно (корисний продукт) і солому (відходи), якої вона більше не потребує. Вона залишає солому на полі або, в кращому випадку, прибирає на корм чи підстилку худобі.

Тільки ось зібране зерно не зможе самостійно рости на цьому полі, продовжуючи природний біологічний цикл. Це стає можливим тільки з ініціативи самої людини, з ініціативи цієї самої її калорії. І підгнила за зиму солома в полі без тієї людської калорійності буде ні до чого. Але й людині все одно, що буде

з цією соломою і цим полем, якщо тільки вона не почне засівати його знову. У кращому випадку солома буде гнити природним шляхом до наступної весни, до наступного (можливого) посіву. В іншому варіанті солома буде використана для худоби, але для цього поля вона буде втрачена як корисний продукт, джерело корисних мінералів. Так у нас вже з'явилися відходи. Доля соломи, яка також залежить від контролюючої людської калорії — або добриво в поле, або підстилка для худоби в якості утилізації цих відходів, або гнила солома десь далеко від цього поля. Так і саме поле, у такій гіпотетичній суті, стає відходом.

Слід розуміти, що самі відходи є похідною цієї однієї людської калорії, а також деяких інших суб'єктивних процесів (?), таких як, наприклад, відношення людини до одержуваної від сонця енергії в 8 калорій (до зерна) і 14 калорій (до соломи). За великим рахунком, все це разом є похідною від енергії сонця, яка приходить незалежно від керуючої цією енергією людської праці. При цьому людська калорія — також, у кінцевому результаті, є похідною сонячної енергії. Але вона вже, свого роду, «керуючий вплив» на нерівноважну термодинамічну систему «сонце — поле (рослини) — зернові культури — солома». Саме цей вплив дає розуміння відходів — у фізичному й економічному сенсі.

Чи може бути, що людська калорія в якійсь мірі є причиною, яка робить відхід об'єктивною реальністю як таке, що людині не потрібно? Поки не ясно. Насправді не було б цієї людської калорії, не було б відходів, але не було б і корисного продукту. Виникає риторичне питання: чи могла б ця людська калорія не виробляти відходів? Відповідь емпірично негативна. Тут приєднуються й інші показники, наприклад, види та якість енергії, яку людина використовує або може використовувати в своїй роботі.

Природа, сонце, без втручання людини, виробляли стільки злаків, скільки допускали в поєднанні кількість факторів — погода, наявність родючого ґрунту, зміна клімату і т. д. Людина, як суб'єктивна субстанція, своїм втручанням у цей процес, прагне до необмеженого збільшення виробництва тільки необхідного їй продукту — пшеничного зерна, наприклад. Це суб'єктивна дія, яка не властива жодній іншій істоті на планеті. Всі інші біологічні істоти ставлять своє життя в залежності від об'єктивних можливостей самої Природи. Але людині ці пшеничні злаки потрібні в будь-яких умовах, в тому числі і «про запас».

Звідси відмінність культурного землеробства від простого збиральництва, від біологічного полювання, характерного для всіх хижаків. Перше відноситься до синергетичних явищ, а друге і третє — до природних енергоентропійних процесів.

У суспільстві, як одна з його якостей, виникають організовані накопичувальні процеси, які супроводжують діяльність людини, а саме виробництво певних благ. Людина починає віддавати перевагу тим своїм діям, які «змушують природу», «гарантують», «зберігають», «резервують» «примножують» тощо. Тобто забезпечують її соціально-економічні переваги. Але в той же час вони збіднюють, пригнічують, спотворюють ту ж саму природу, порушують її природний стан.

Все це є «витрати», з якими людина довгий час мирилася, а природа до певної межі погоджувалась. У тому числі, у вигляді відходів цих дій, суть різниці яких носить вже не фізичний, а й соціально-економічний, екологічний характер.

Відбувається процес примноження різноманіття суспільних благ. І продукти, і відходи відносяться до прояви синергізму, завдяки якому людська праця залучає десятки інших видів енергії, природних матеріалів, синтезуючи їх найнеймовірнішими способами, щоб досягти цього впорядкування, мінімізуючи, насамперед, залучену для цього енергію таким чином, щоб, всупереч другому закону термодинаміки, сприяти організації складного з простого. Важливе розуміння того, що ці процеси примноження також передбачають втрати у вигляді відходів, характерних для цих процесів.

Не проста ця сама калорія людської праці. За нею ховається не тільки фізична праця соціально орієнтованої біологічної істоти, а й її суб'єктивні очікування та здатність до синергізму. Саме в них полягає певна частина розуміння утворення відходів як складової будь-якого виробництва, похідної суспільної людської праці. Завдяки цьому в такій системі виникає подібність «дивного атрактора» з хаотичною динамікою і подальшими багатоплановими процесами біфуркації (рис. 3.3, проєкції площі «Б»). Це непослідовний вибір, який людина робить шляхом свідомого застосування своєї особистої енергетичної калорії розміром $E \leq E_0$, де — певний енергетичний потенціал суспільства. Адже, наприклад, вона могла б витратити її на збиральництво $E = 0E_0$ (рис. 3.3, проєкція площі «А»), фактично забезпечивши себе мінімальним «прожитковим мінімумом». Причому, збиральництво — це майже без будь-яких відходів. Використання вогню, використання скотарства, землеробства — явища аналогічні атракторному типу для суспільства, в якому тоді перебувала людина. Межею таких «атракцій» були умови поліваріантності в змаганні за виживання всередині людського виду, які сформувалися й існують у суспільстві до сих пір у вигляді боротьби за енергетичні, водні та продовольчі ресурси, за нові технології, за нові матеріали і т. д. Цю різноманітність можна продовжувати.

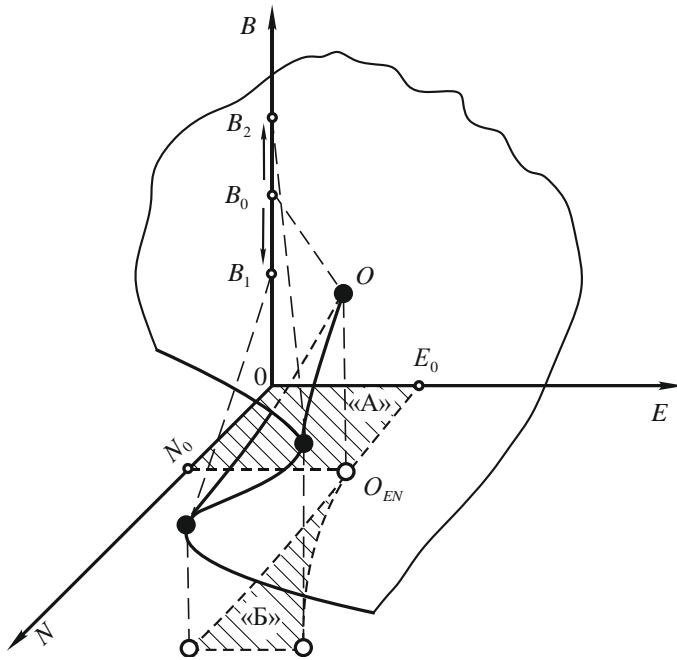
Для нас важливо, що всі ці процеси, так чи інакше, пов'язані з явищами утворення відходів у будь-якому виді подібної діяльності. Критеріями тут є: цінність і не цінність, необхідність і непотрібність, корисність і зайвність для людини, для поповнення її біологічного ресурсу на певному рівні (B_0). Ці критерії не охоплюють всієї картини такої діяльності. Відходи — один із таких прикладів. Критерії тут чисто економічні або соціально обґрунтовані. Можливо, ці відходи для когось або чогось навіть корисніші, ніж відповідні продукти для людини? Але людина показує, що відходи їй не потрібні. Такі явища, як біфуркаційні процеси, тут пов'язані з проявом суб'єктивних потреб навіть не окремої людини, а всього суспільства (див. рис. 3.3). І проявляються вони як синергізм у сукупності соціальних потреб, що порівнюються з сукупним енергетичним потенціалом $E > E_0$ суспільства. У тому числі і з механізмами суб'єктивно-

го відбору. Цьому сприяє і наступна за накопиченням соціальна поляризація в самому суспільстві. Ті, в кого життєво важливого (біологічно забезпеченого) ресурсу (*B*) стало більше, намагаються його примножити, ті, кому його не вистачає, намагаються надолужити. З'являється поняття багатства, його стійкість або нестійкість у світі. Воно пов'язане з привласненням результатів не тільки своєї, а й чужої праці, а далі — з рентабельністю виробництва матеріальних цінностей, зосереджених у руках одного індивіда. Останнє явно не терпить так званих «невиробничих» витрат. А переробка відходів, їх утилізація, надання їм властивостей продукту — це для такого виробника, як було прийнято в усі часи, і є ті самі «невиробничі» витрати. Такі зайві витрати дуже цінні для такого суб'єкта у вигляді ресурсу того ж самого сукупного енергетичного бюджету суспільства. І ніхто не хоче втрачати цей бюджет добровільно. Виникають значні умови порушення рівноважності такої системи. Тієї рівноважності, якою ми ще не навчилися користуватися.

І далі. Творча діяльність людини почала формуватися в той час, коли соціальні групи людей у племенах не могли виживати, в силу різних обставин і шукали шляхи продовження існування, збереження сім'ї, виживання малюків, пошуку більш раціональних і ефективних джерел їжі, захисту від зовнішніх небезпек, заради територіальних переваг. Все це, так чи інакше, було пов'язано з новими видами їжі, її калорійністю, пошуком нових джерел енергії, необхідністю захисту від холоду, хвороб, природних катаклізмів. Одним із шляхів досягнення таких цілей були ремесла, що постійно виникали та розвивалися, нові форми добування не тільки їжі, а й одягу, житла, нові форми захисту від зовнішніх ворогів — укріплення, зброя. Люди поступово навчилися щось виробляти. Саме в цьому їм допомагала спочатку власна біологічна енергія, а потім енергія приручених тварин, а потім вогонь, пар, вітер та ін. Але освоєна енергія — це також відходи, що стоять за її виробництвом і споживанням.

Поступово виникає потреба в більш якійсій енергії і сировині. Якщо енергія, споживана ради зміни стану матеріалів, не перевищує накопичений загальний енергетичний бюджет суспільства, це означає, що робота буде реалізована і ці вироби будуть отримані. В іншому випадку виробництво буде економічно й енергетично невиправданим. Воно потребує нових джерел енергії. При цьому акцент робиться саме на те, щоб енергії мінімально вистачало лише на отримання цільового продукту, заради чого запускаються ці доцільні (термін П. Кузнецова) енергетичні перетворення. І тільки ... Тобто існує обмеження за якістю і видами енергії, що накопичується в суспільстві і застосовується для отримання благ. Без урахування появи відходів.

У таблиці 3.2 представлений перелік деяких найпоширеніших ремесел на Землі, які в рамках системно накопиченого сукупного енергетичного бюджету суспільства вже понад п'ятнадцять тисячоліть склали основу доцільного для людини соціального розвитку. І види відходів, які супроводжують цю діяльність.



$E = 0E_0$ — індивідуальний енергетичний ресурс людини;
 $E > E_0$ — загальний енергетичний ресурс суспільства;
 $N = 0N_0$ — кількість індивідуальних осіб; $N > N_0$ — соціальне суспільство; O — точка біфуркації; B_0B_1 — втрачений біологічний ресурс; B_0B_2 — придбаний біологічний ресурс; «А» — проекція області безальтернативного вибору; «Б» — проекція області біфуркації.

Рисунок 3.3 — Місце трудових відносин у динаміці біологічних систем. Атрактори і біфуркації. Позначення координат: B — біологічний ресурс; E — енергія; N — обсяг популяції

Повторимося, що всі ці ремесла були суспільно необхідними, економічно й енергетично доцільними в тій їх частині, яка стосувалася виробництва корисних для людства благ у рамках загального енергетичного бюджету суспільства. Відходи не бралися до уваги, хоча енергія, витрачена на ці відходи, забиралася з того ж енергетичного бюджету, що високо цінувався.

Перші й основні ремесла, що існували понад дванадцять тисячоліть (з часів родових відносин), характеризувалися низькою продуктивністю, малими обсягами задіяної сировини і, відповідно, малими кількостями відходів (переважно органічного походження), які утилізувалися в природних умовах незалежно від ініціативи людей. Це сформувало певний тип ставлення людини, ремісника до самого виробництва і, зокрема, споживацьке ставлення до його відходів, як до нічого не вартих і непотрібних продуктів цього виробництва, які без церемоній можна просто викинути. Не замислюючись про вплив цих відходів

на зовнішнє середовище. В рівній мірі не існувало абсолютно ніяких державних або інших обмежень на утилізацію відходів практично будь-якого виробництва, будь-якого ремесла.

Таблиця 3.2 — Деякі ремесла та активності, з якими пов’язаний розвиток людського суспільства (т.р. до н.е. — тисяч років до нової ери)

№	Найменування ремесла	Час початку	Характеристика відходів
1	Збиральництво	XIII — XI т.р. до н.е.	Незначна зміна еколандшафту
2	Полювання та риболовля	XII — X т.р. до н.е.	Відходи, що легко переробляються: кістки, нутрощі, невикористана шерсть і шкіра
3	Землеробство	XII — X т.р. до н.е.	Відходи, що легко переробляються: солома, полова
4	Тваринництво	XII — X т.р. до н.е.	Відходи, що легко переробляються: гній, незначна зміна еколандшафту
5	Шкіряна вичинка (кушнірство)	VI т.р. до н.е.	Забруднення води, шкіряні обрізки
6	Пошиття одягу та взуття	VIII — VI т.р. до н.е.	Тканинні та шкіряні відходи, тканинний та шкіряний пил
7	Плетіння	VI — IV т.р. до н.е.	Відходи органічних матеріалів, лози, тканин
8	Ткацтво	IV т.р. до н.е.	Забруднення води, відходи запуснення тканин
9	Виноробство	VI — V т.р. до н.е.	Насіння, вичавки, залишки сульфідів
10	Приготування їжі	—	Відходи харчових продуктів, що легко переробляються
11	Будівництво	—	Відходи неорганічних матеріалів
12	Суднобудування	IV т.р. до н.е.	Відходи що легко переробляються: деревина і ткани матеріали
13	Кераміка	IV т.р. до н.е.	Відходи неорганічних матеріалів
14	Залізобробство	—	Відходи неорганічних матеріалів: шлаки, неорганічний пил і гази

До тих пір, поки такі ремесла давали відносно невеликий сукупний продукт для громади, відходи не становили ніяких проблем для суспільства.

Вперше людське суспільство зіткнулося з проблемою відходів (неорганічних) в будівельних ремеслах, особливо при будівництві культових споруд, храмів,

пірамід, палаців і т. д., що мали особливе загальнодержавне значення. Коли ремісникам вперше довелося переробляти величезну кількість будівельних матеріалів, шляхом сколювання, розпилювання, шліфування, формування, випалу, й отримувати величезну кількість відходів з того ж матеріалу, що і будівельні вироби, саме тоді були прийняті перші заходи з утилізації відходів. Зокрема, так було при будівництві римських доріг, єгипетських пірамід [17, 18]. Так було і в будівництві пірамід майя, і при будівництві культових храмів у ранній Месопотамії, зокрема, в шумерському царстві, в Єгипті, в Китаї, в Стародавній Греції і в Стародавньому Римі, в державах інків і ацтеків, тобто по всьому світу незалежно один від одного. Вперше кількість будівельних відходів стала порівнянною з кількістю матеріалів, витрачених на основну споруду, що вже тоді могло поставити проблему: що з ними робити?

Могло, але не поставило. Природа все одно справлялася з примітивним техногенним навантаженням, яке не виходило за рамки можливостей самої природи. Доки загальні обсяги одержуваної продукції були порівняно невеликими і використовувалися тільки для простого споживання або для примітивного накопичення «про запас».

Однією з найважливіших причин зростання відходоутворюючого компонента в традиційних ремеслах є поява так званого *додаткового продукту*, коли просте накопичення продуктів «про запас» заради збереження чисельності племені вже не задовольняє, перш за все, вождя і верхівку племені. Тоді, коли в якості основи товарно-грошових відносин, що почали зароджуватись, стала з'являтися можливість перетворення продуктів у товар, а потім у гроші, підкреслюючи таким чином, їх економічну сутність. Останнє призводить до *значного збільшення* накопиченого обсягу виробництва і, в той же час, до значного збільшення накопиченої кількості відходів. При цьому психологія виробників щодо відходів залишилася колишньою, відірваною від проблем навколишнього середовища. Але надлишків продукту вистачає не всім, і його виробництво знову збільшується. Збільшується і кількість відходів. Процес ніяк не обмежений — ані зверху, ані знизу.

Така психологія збереглася протягом більш ніж дванадцяти тисячоліть існування людського суспільства, яке щось виробляло, від його первісного існування до сучасної науково-технічної революції з її енергетичним та інформаційним вибухом, з гіперболічним збільшенням кількості загальної товарної маси (того ж самого додаткового продукту).

І вже не вдавалося відмахуватися від таких показників, як сумарний валовий продукт, енергоємність одиниці товару, енергетичні ресурси планети, нічим не обмежений обсяг відходів, зростаюче антропогенне навантаження на існуючі екосистеми, їх пригнічення і навіть загибель і т. д. Зокрема, зростало розуміння того, що енергетика ремесл, плавно перетікаючи в енергетику сучасного виробництва, існує в основі продуктивної праці, в основі зростаючих показників

сукупного валового продукту і, в кінцевому результаті — знаходиться в основі всіх процесів утворення відходів, на рівних умовах із утвореною продукцією (табл. 3.1). Але до цього потрібно було дійти.

І ще раз відзначимо, що важливим є фактична рівноправність керуючих дій з боку людини, спрямованих як на отримання корисного продукту, так і на отримання конкретного відходу. Цим же підкреслюється рівноправність перетворень всіх компонентів сировинної бази будь-якого виробничого процесу за допомогою наперед заданого керованого зовнішнього потоку енергії.

Знову напрошується висновок, що можна за допомогою маніпуляцій керуючим енергетичним дійством з боку людини залучити в конкретний виробничий процес інакше організовані енергетичні потоки третього покоління (E_{III}), які здатні перетворити «зайві» компоненти сировинної бази не в непотрібні, а в якісь вторинні корисні продукти (P_b) в рамках єдиного виробничого процесу (див. табл. 3.1). Такий висновок впливає і з матеріалів досліджень послідовно С. Подолинського, П. Кузнєцова, С. Ніканорова.

І знову повертаємося назад.

Поступово людина входить у ситуацію з дефіцитом сировини, енергії, для того, щоб реалізувати свої нескінченно розвинені, але давні інстинкти: «більше; про запас; накопичувати». Заощадити більше — це вже не працює. Нам потрібні нові джерела енергії, нам потрібні нові технічні системи, які перетворюють цю енергію і матеріали.

Виникає протиріччя між потребою в ресурсах і можливістю її задоволення з урахуванням відомих ресурсних обмежень. Протиріччя розвиваються між прагненням до порядку, з одного боку, і постійно зростаючою соціально-економічною «ентропією» (прихована інфляція, товарний дефіцит, структурні дисбаланси, соціальна напруженість), з іншого. Сукупний енергетичний потенціал суспільства не може мати гіперболічного зростання. Він обмежений багатьма незалежними від людини умовами: обмеженість ресурсів, нерівномірний розподіл ресурсів на планеті, нерівномірний розподіл інтелектуального потенціалу, існуючий технічний рівень і його просторова нерівномірність і т. д.

Згідно з даними, опублікованими ще в 1962 році під час VI Всесвітнього енергетичного конгресу в Мельбурні, витрати на 1 ккал людської праці можуть вивільнити з природи не менше 200 ккал у вигляді палива, гідроенергії, продуктів харчування і т. д. [19]. Причому ця цифра в деякому наближенні відноситься і до праці в рабовласницькому суспільстві, з використанням гужового енергетичного ресурсу, і до раннього капіталізму, який використовував силу пари, і в сучасному суспільстві з його вуглеводневими джерелами енергії. З цієї створеної частки щодня потрібно всього 2 ккал для забезпечення життєдіяльності самої особини. А 198 ккал з них — це ресурси, отримані від природи, які використовуються для створення всього, чим сьогодні володіє суспільство: нерухомість, заводи, електростанції, транспортні, культурні, наукові, освітні об'єкти і багато

іншого, що таким чином накопичило людство. Це частина сукупного енергетичного бюджету суспільства.

У цій сукупності виробленого нас знову цікавлять відходи, енергетичні вкладення в які входять в ті самі умовні 198 ккал, що виділяються зусиллями $e_{ch} = 1$ ккал людської праці. Цим також підкреслюється рівноправність для суспільства цього «продукту» — відходів. Кожна така кілокалорія людської праці активізує набагато більші енергетичні ресурси, частина з яких не використовується суспільством. Вони накопичуються у вигляді звалищ, відвалів, забруднення води і повітря, тощо. Їх практично не використовують. Таким чином, відбувається штучна консервація частини задіяних природних ресурсів, які вивільняються за рахунок управлінської праці людини, в рівній мірі, як відбувається і консервація частини самої людської праці і консервація того ж самого сукупного енергетичного бюджету суспільства.

Ми приходимо до такого ж висновку. *Роботи зі створення продуктів і відходів ведуться за одними і тими ж алгоритмами, з рівноправними і порівнянними витратами людської праці, причому ці дві матеріальні отримані компоненти також рівнозначні, відрізняючись лише суб'єктивним ставленням людини до них. Суб'єктивними, з точки зору як економіки, так і соціальності.*

3.2. Управління ризиками при поводженні з промисловими відходами

Є дещо інший компонент, який характеризує людські відносини і відходи. Він пов'язаний із біологічним впливом другого на перше у вигляді залежного стану здоров'я людини. Це потенційні та реальні ризики такої взаємодії. Така взаємодія підкреслює складність поняття «відхід» для людини, і не тільки з економічної або соціальної сторони, а з біологічної. Це не просто нелінійні залежності. Ця взаємодія часто описується абсолютно іншими залежностями, які характеризують відходи по відношенню до людини, як спонтанні, імпульсивні, подвійні і навіть хаотичні відносини, які роблять управління відходами ще більш складним і невивченим.

Проблема зниження ризику для населення, яке проживає або пов'язане з роботою в місцях скупчення промислових відходів, зокрема шлакових відвалів, гірських порід, шахтних відвалів, промислових відстійників і ємностей-накопичувачів, знаходить своє відображення, як правило, в програмах екологічної реабілітації великих промислових міст, наприклад українських Одеси, Кривого Рогу і Дніпра, Маріуполя і Запоріжжя, Києва і Харкова. Актуальною є задача реального управління таким ризиком з метою його мінімізації, якій присвячено достатньо досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]. Зокрема, вперше було привернуто увагу до такого непростого явища,

як невизначеності в управлінні ризиками. На жаль, у таких роботах не розкриваються механізми такого явища, як біфуркація, не вказуються межі керованості складною екосистемою промислового регіону.

Загальноприйняте аналітичне визначення ризику пов'язане з відношенням кількості несприятливих (ризикованих) подій (n) до загальної кількості подій (N) за певний часовий інтервал $(0, T(\tau))$

$$R = \frac{n(\tau)}{N(\tau)}. \quad (3.1)$$

При цьому далеко не завжди в аналітичних дослідженнях звертається увага на фактор часу, який не фігурує в загальній формулі в чистому вигляді. На перший погляд, рішення проблеми управління такими ризиками за залежністю (3.1) не представляє складності. Покажемо, що це не так [20].

Для уточнення звернемося до ймовірнісної характеристики ризику — ймовірності настання ризикової події P_R . Чим більший інтервал $(0, T)$, протягом якого спостерігаються події, тим більше зростає його невизначеність. І навпаки, чим конкретніший проміжок часу, протягом якого може статися небажана подія із заданою ймовірністю, тим більше можливостей його настання. Тому час у чисельнику і знаменнику формули (3.1) має цілком визначене, але різне змістовне значення. Якщо знаменник повинен відображати загальний час події (T), то чисельник — це нескінченно малий часовий інтервал ($d\tau$), протягом якого збіг ряду факторів призводить до небажаної події

$$\begin{aligned} P_R[x_1, \dots, x_i, \dots, x_I, \tau] &= \frac{1}{N(x_1, \dots, x_i, \dots, x_I, \tau)/T} \cdot \frac{dn}{d\tau} = \\ &= \frac{T}{N(x_1, \dots, x_i, \dots, x_I, \tau)} \cdot \frac{dn}{d\tau} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Формула з точки зору керованості об'єкта має структуру нелінійної інерційної ланки диференціального типу. Рівняння такого об'єкта має наступний загальний вигляд [27]

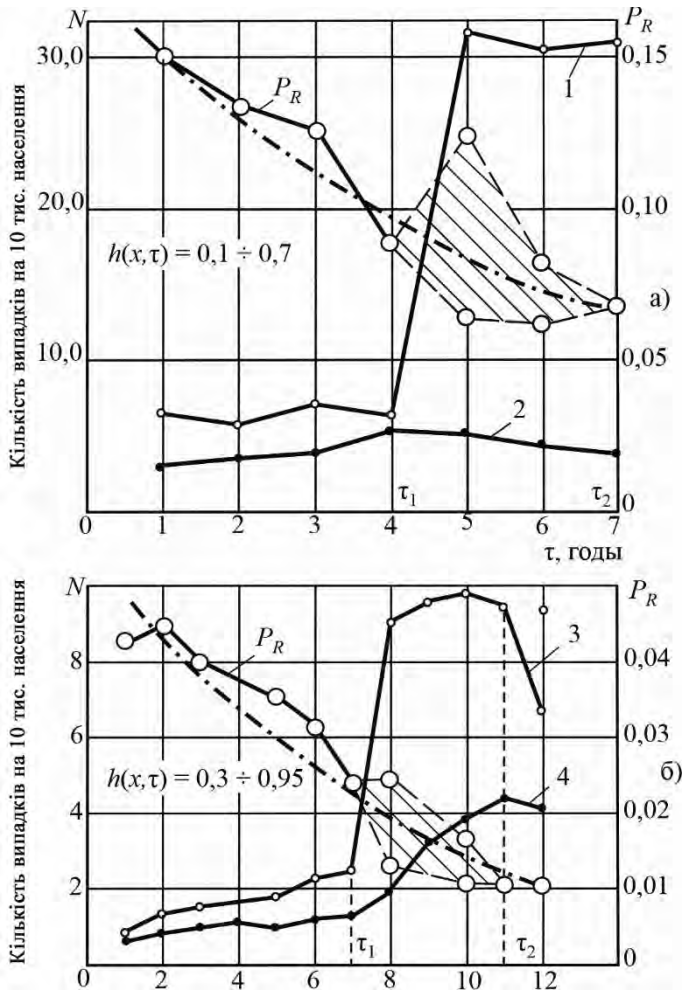
$$\frac{dn}{d\tau} = \frac{P_R(x_i, \tau)}{T} N(x_i, \tau) + h(x_i, \tau). \quad (3.3)$$

Тут значення h враховує нелінійність правої частини рівняння, на думку Г. Ніколіса, — нелінійність функції розгалуження (рис. 3.4). Підтвердженням правомірності такого судження є класифікація ризиків з точки зору управління, що показана в роботах В. П. Буянова та ін. [22], яка обґрунтовує існування явищ біфуркації, що виникають при управлінні ризиками в складних системах.

Ступеневі зміни параметрів, що характеризують явища формування ризику, характерні для впливу відходів на захворюваність населення, патологічну

вагітність та ін. Щоб зрозуміти, як величина $n(\tau)$ реагує на часові зміни, досить обчислити рівняння (3.3) для умови $x_i = \text{const}$ і $h = 0$

$$N(x_i, \tau) = \begin{cases} k \cdot \tau, & \tau = 0 \div T; \\ k; & \\ k/\tau, & \tau = 0 \div T. \end{cases} \quad (3.4)$$



1 — с. Кам'янськ; 2 — Приморський район м. Маріуполя;
3 — м. Маріуполь; 4 — Донецька область в цілому

Рисунок 3.4 — Динаміка захворювань системи кровообігу (а) і проявів відхилень від здоров'я у новонароджених (б)

Тут ми маємо справу зі стандартними перехідними процесами, в яких побічно задіяний індикатор ризику. Загальна спрямованість перехідного процесу щодо формування ризику може мати вектор, як у бік статизму явища, так і в бік зростаючого динамізму, включаючи трансцендентні стани, пов'язані з відображеннями біфуркації.

Докладніше розглянемо залежність $P_R = g(x_i)$ при $\tau = 0$, залежність $x_i(\tau)$ за умови $P_R = 0$ і залежність $P_R = f(\tau)$ при $x_i = \text{const}$.

Перші дві залежності мають форму гладких функцій (рис. 3.5). У найзагальнішому вигляді функція $P_R = g(x_i)$ при $\tau = 0$ має вигляд функції насичення. А залежність $x_i(\tau)$ при умові $P_R = 0$, як правило, носить гіперболічний характер (див. рис. 3.5, а). Логіка, підкріплена статистичними розрахунками, вказує на те, що залежність $P_R = f(\tau)$ при $x_i = 0$ також може носити гіперболічний характер (див. рис. 3.5, в). Однак, з огляду на складність і багатофакторний характер ризикуотворюючих систем, можна припустити більш складні перехідні процеси. Йдеться про можливі проєкції типу збірки Уїтні [28].

У просторі з координатами (P_R, x_i, τ) поверхня збірки Уїтні задається формулою $P_R = \tau^3 + x_i\tau + h(x_i, \tau)$ і проєктується на горизонтальну площину (x_i, τ) , $(P_R = 0)$ у вигляді обмеженої області (рис. 3.6), розділеної напівкубічною параболою з точкою повернення (P_0) . Кожна точка в затіненій області є проєкцією трьох точок поверхні збірки Уїтні, кожна точка поза межами цієї області є проєкцією однієї точки на збірці, а точки, що належать параболі, є проєкцією двох точок на збірці. При наближенні проєкційної траєкторії до точки повернення (P_0) проєкції всіх точок зливаються в одну, представляючи собою не що інше, як точку початку змін біфуркації в системі, що описується поверхнею збірки Уїтні.

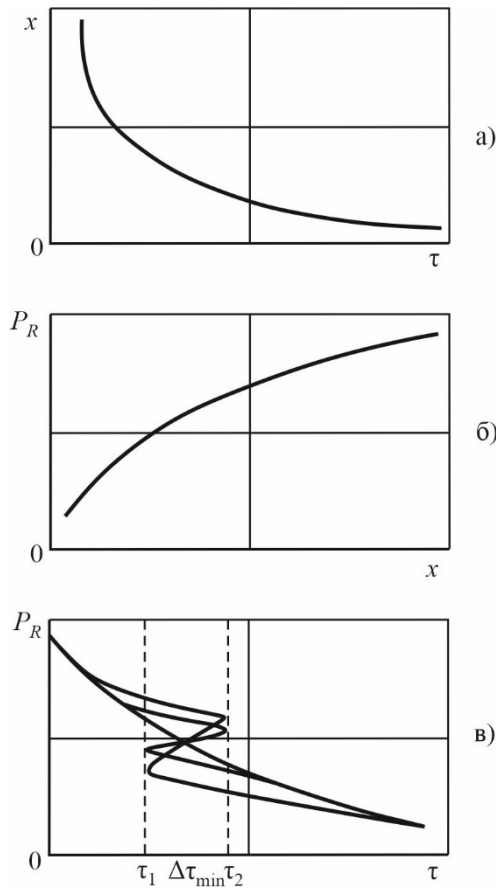
Напівкубічна парабола і точка (P_0) представляють області повернення — нестабільні стани системи. Таким чином, стійке управління ризиками може бути здійсненим у певний часовий інтервал і тільки в тій області, де $0 < x_i < x_0$. Іншими словами, якщо параметр x_i , що визначає ймовірність несприятливого результату для людини, яка тривалий час перебувала в зоні знаходження промислових відходів, перевищує певний критичний поріг, управляти таким ризиком в інтервалі часу $\Delta\tau_{\min}$ є неможливим.

Таким чином, поза часовим інтервалом $\Delta\tau_{\min}$ можуть знаходитися як гладкі функції управління ризиками, так і, наприклад, нові зборки Уїтні, тобто в цілому управління ризиками в області волатильності $x_i > x_0$ стає проблематичним.

Енергетична функція катастрофи збірки Уїтні для цього випадку описується наступним рівнянням [28]:

$$X(\cdot) = \frac{1}{4} a^4 + \frac{1}{2} a^2 + b, \quad (3.5)$$

де a і b — керуючі змінні для поверхні збірки.



а) $x_i(\tau)$ при $P_R = 0$ б) $P_R = g(x_i)$ в) $P_R(\tau)$ при $x_i = 0$

Рисунок 3.5 — Імовірнісна і параметрична характеристика формування ризику

З точки зору динаміки системи $X(\tau) = \min$ відповідає її стабільним рівноважним станам, а $X(\tau) = \max$ та надмірності функції — станам нестійкої рівноваги. Наприклад, для $(a, b) \in [\tau < \tau_{1i} \text{ и } \tau > \tau_{2i}]$ існує тільки єдиний стан стійкої рівноваги системи, а для $(a, b) \in [\tau_{1i} \leq \tau \leq \tau_{2i}]$ є два стійких рівноважних стану системи і один нестійкий.

Реагуючи на такий нестабільний стан, система або за рахунок власних внутрішніх ресурсів прагне увійти в рівновагу, або знайти інший, новий для себе параметричний стан, в якому можливе співіснування ризикоутворюючих відходів і ситуацій, в яких $P_R = \min$. Іншими словами, система «людина — промислові відходи (ризика)», потрапляючи в область $(a, b) \in [\tau_{1i} \leq \tau \leq \tau_{2i}]$ (див. рис. 3.6), прагне, як мінімум, вибратися з неї власними силами, тобто вийти в область сталого управління при $x_i < x_0$, або за рахунок ресурсів надсистеми знайти рівноважний стан в області управління $(a, b) \in [\tau < \tau_{1i} \text{ и } \tau > \tau_{2i}]$ при $x_i \geq x_0$.

Другий варіант менш крайній, оскільки в цьому випадку потенціальна функція $X(\tau)$ має не тільки стійкий мінімум, але і одну точку перегину — потенційну область подальшого стану біфуркації. Тобто співіснування ризикоутворюючих станів для людини в зоні таких відходів і ситуацій, при яких $P_R = \min$ здатне створити ще одну область біфуркації в точці перегину.

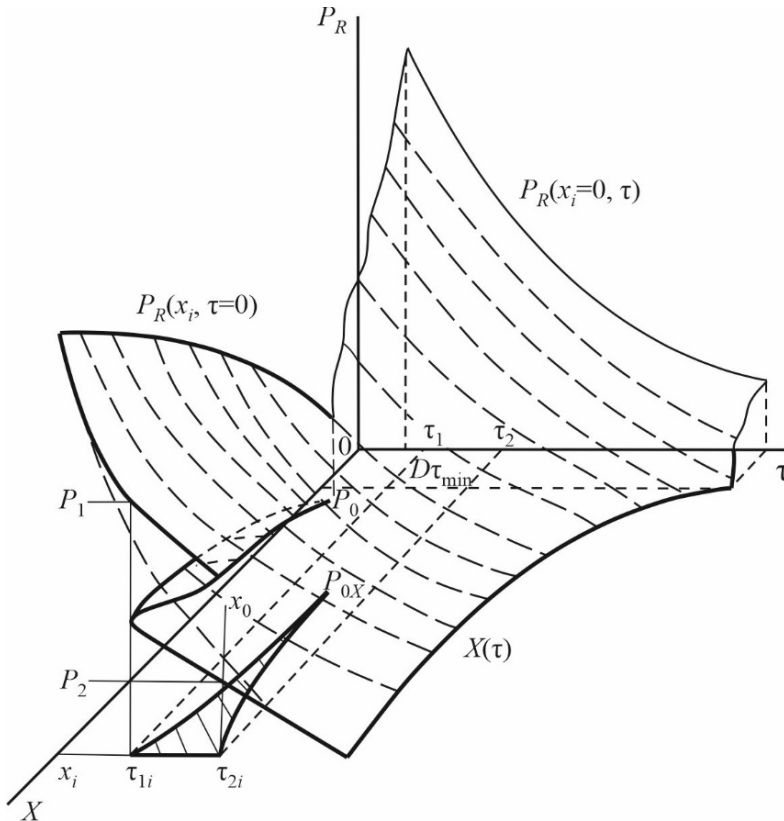


Рисунок 3.6 — Загальний вигляд поверхні управління при виникненні ризику у вигляді збірки Уїтні

Для виявлення біфуркації стаціонарних рішень у першій точці нестійкості стандартного стану рішенням підпорядковується рівняння

$$\frac{P_R(x_i, \cdot)}{T} N(x_i, \cdot) + h(x_i, \cdot) = 0. \quad (3.6)$$

Рішення нелінійного рівняння загального вигляду в певному сенсі є складним, тому скористаємося наступними спрощеннями, пов'язаними з обмеженням досліджуваної області біфуркації в межах $\tau_{\min}^C = \text{const}$ [22]. При цьому передбачається, що нові рішення в межах τ_{\min}^C виникають безперервно. Це дозволяє виключити з розрахунку точки з відгалуженням з цієї області. Якщо взяти

інтервал часу нескінченно малого розміру $\Delta t = \frac{C}{\tau_{\min}} = \Delta$, то розкладання на ряд основних параметрів рівняння (3.4) має вигляд

$$x_i = \Delta \cdot x_{1,i} + \Delta^2 \cdot x_{2,i} + \Delta^3 \cdot x_{3,i} + \dots, \quad (3.7)$$

$$P_R(x_i, \tau) = \Delta \cdot \tau_{\min}^C + \Delta^2 \cdot \tau_{\min}^C + \dots = \Delta \tau_{\min}^C (1 + \Delta + \Delta^2 + \dots). \quad (3.8)$$

Тоді система рівнянь (3.3) в першому наближенні за загальним параметром Δ стає однорідною і має вигляд

$$\frac{P_R(x_i, \tau)}{T} N(x_i, \tau) = 0, \quad (3.9)$$

її рішення, що відповідає маргінальній стійкості при $\Delta \tau = \Delta \tau_{\min}^C$, визначається як $x_{1,i} = C \cdot e_1$, $x_{2,i} = C \cdot e_2$, і т.д. Тут $C \cong f(P_R(\tau))$. Очевидно, що ці рішення визначаються можливостями визначення величин e_i . Якщо перше з рівнянь (3.8) за визначенням є лінійним і однорідним, то наступні — ні.

Параметр $P_R(\tau)$ можна записати у вигляді матриці у векторному просторі $\{x_i\}$. Тоді зазначене рішення може мати вигляд $x_i \cong \frac{1}{P_R(\tau)} \cdot e_i$.

Розглянемо стійкість стану просторово однорідної параметричної екосистеми «людина-відходи», параметри якої характеризують виділення та розсіювання шкідливих речовин. При цьому умова однорідності системи забезпечується видаленням фактичних джерел забруднення за її межі. Умовою стабільності, згідно з [28], є

$$\frac{dx_i}{d\tau} = V_i(x_j) + D_i \cdot \nabla^2(x_i), \quad (3.10)$$

де x_i — параметри стану системи;

D_i — коефіцієнт дисипації i -го компоненту в системі утворення відходів;

j — параметр зворотного потоку в системі;

V_i — обсяг i -го компоненту в обороті;

∇ — оператор Гамільтона.

Якщо прийняти перше припущення про те, що коефіцієнт розсіювання i -го компоненту відходів незмінний для деякого миттєвого макроскопічного стану, що описується змінними $\{p_i\}$, такими що задовольняють рівнянням балансу, а концентрації p_i компонентів в системі невеликі при їх значному розсіянні, то рівняння (3.9) набуває вигляду

$$\frac{dp_i}{d\tau} = f_i(\{p_j\}, \tau) + D_i \cdot \nabla^2\{p_i\}, \quad (3.11)$$

де f_i — нелінійна функція, що описує повну швидкість виділення до системи i -го компонента; π — параметр біфуркації системи, що дозволяє судити про формування катастрофічних явищ (вузли, складки і т. д.).

Рівняння (3.10) розкривається в систему нелінійних диференціальних рівнянь з частинними похідними, число розв'язань яких залежить від властивостей дифузної матриці. Однак повної класифікації точних рішень таких рівнянь не існує. Другий член рівняння (3.10) визначає стійкість однорідної системи і при певних умовах може привести до мимовільної зміни початкової просторової симетрії.

А друге припущення полягає в тому, що система не сильно нерівноважна, тобто знаходиться поблизу стану термодинамічної рівноважності. Це означає такий стан екосистеми, коли параметри навколишнього середовища, в тому числі і промислові відходи, мають незначні відхилення від рівноважних (допустимих, термодинамічно нормативних) значень. Тоді рівняння (3.10) записується через потенціальну (енергетичну) функцію V наступним чином:

$$\frac{dp_i}{d} = -dV(p_j, \dots)/dp_i. \quad (3.12)$$

Точка виникнення біфуркаційних змін у системі визначається умовою $\frac{dV}{dp} = 0$ і $V \neq f(\tau)$. Поверхня управління, до якої належить така точка, в місці її дислокації або має розгалуження рішень, або потенційна функція V досягає тут абсолютного мінімуму не менш, як у двох точках, розташованих на перетині таких гіперповерхонь. Лінії перетину таких поверхонь розділяють номінальний і біфуркаційний режими роботи системи і представляються збіркою Уітні та ін.

Порівняльні дослідження динаміки окремих видів захворювань для населення, що компактно проживає в районах скупчення, наприклад, шлакових відвалів, вказують на те, що в певні періоди часу, обмежені, як правило, 3–4 роками, доводиться стикатися з їх численними ступеневими змінами. Наприклад, такі зміни встановлені для статистики загальних захворювань системи кровообігу серед жителів селища Кам'янськ (міста Маріуполя) в середині 90-х років, що є суттєвою аномалією порівняно з контрольними даними більш благополучного Приморського району Маріуполя (див. рис. 3.4, а). Або аналогічні залежності для статистики аномальних пологів у місті Маріуполь та в Донецькій області в цілому (див. рис. 3.4, б). Позначимо цю залежність $x_i(\tau)$ і розрахуємо для неї імовірнісну характеристику ризику захворювань цих типів. Результати розрахунків, виконаних цим методом, наведені в табл. 3.3.

Рішення рівняння (3.11) у вигляді матриці виглядає наступним чином:

$$P_R(\tau) \cong \frac{1}{x_i} e_i. \quad (3.13)$$

Для першого визначального параметра $x_1 = \text{const}$ маємо єдине рішення $P_R(\Delta) = \frac{1}{x_1/\Delta}$, де $\Delta = \tau_1 - \tau_{\min}^C$ — відносно мінімальний поточний часовий інтервал, відведений для факту небажаної події в загальному часовому інтервалі спостереження за подією $\tau_2 = T$.

Таблиця 3.3 — Порівняльні результати розрахунку ймовірності формування ризику, пов'язаного з деякими видами захворювань у людей, що підпадають під вплив шлакових відходів металургійного виробництва на територіях, прилеглих до м. Маріуполя

Види захворювань							
Хвороби системи кровообігу				Прояви відхилень у новонароджених			
$N_{i+1}-N_i$	$P_{R^* \text{ расч}}$	$P_{R^* \text{ експерим}}$	$P_{R,i} - P_{R,i}$ $i \cong i^1$	$N_{i+1}-N_i$	$P_{R^* \text{ расч}}$	$P_{R^* \text{ експерим}}$	$P_{R,i} - P_{R,i}$ $i \cong i^1$
-1	0,15	0,15	0,0	+0,35	0,051	0,042	0,0
+1,5	0,130	0,134	0,0	+0,22	0,044	0,045	0,0
-0,5	0,117	0,125	0,0	+0,27	0,039	0,040	0,0
+25	0,095	0,081	0,0	+0,5	0,030	0,035	0,0
-1	0,079	0,065; 0,122	0,06	+0,31	0,027	0,031	0,0
+0,5	0,073	0,062; 0,079	0,017	+6,85	0,023	0,024	0,0
-	0,067	0,068	0,0	+0,55	0,019	0,013; 0,024	0,011
-	-	-	-	+0,23	0,013	0,011; 0,017	0,006
-	-	-	-	-0,27	0,012	0,011	0,0
-	-	-	-	-2,9	0,011	0,011	0,0

Наприклад, для $\frac{\Delta}{T} = \frac{10}{365}$ року передбачувана ймовірність події, пов'язаної з ризиком захворювання кровоносної системи у жителів, які проживають у зоні шлакових відвалів селища Кам'янськ, варіюється від 0,15 до 0,07 при ступеневій зміні числа випадків захворювання з 7 до 32 випадків на кожні 10 тисяч населення.

Якщо брати до уваги дані статистичної звітності (див. рис. 3.4, а, крива 1), то за період $T = 3$ роки ймовірність формування ризику зі стрибком N від 7 до 32 випадків при $\Delta = 1 \div 10$ діб, розкид за параметром P_R досягає $1,33 \div 2$ рази при $T = \text{const}$. При цьому відхилення від розрахованої ймовірності становить від 15 до 95%. Такі відхилення не можна пояснити тільки помилками розрахунків. Можна зробити висновок, що відбувається розгалуження $P_R(\tau)$ функції в період різкої зміни одного з параметрів x_i .

Ризики при поводженні з промисловими відходами, в тому числі для жителів районів, де такі відходи накопичуються, є малокерованими, і єдиним радикальним способом захисту людини в цих випадках є розосередження в просторі суб'єктів системи «людина — промислові відходи». Інші способи управління такими ризиками малоефективні. Але їх ідентифікація надає додаткову інформацію про складні залежності, що містить у собі поняття «відходи».

ГЛАВА 4

ІНФОРМАЦІЙНІ МЕХАНІЗМИ ПЕРЕВАГ У ВИБОРІ ЦІЛЕЙ І ЗАВДАНЬ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

Сукупність знань про стан сировинної бази, про джерела енергії, яка використовується в технологічному процесі, про технологічні прийоми, покликані перетворити цю сировинну базу за допомогою заданих видів енергії, знання, що відносяться до запрограмованого результату у вигляді готових виробів із заздалегідь заданими якостями, які роблять цю продукцію ліквідним товаром, — все це відноситься до *інформації*, яка супроводжує будь-який технологічний процес, будь-яке виробництво [1, 2]. Ця ж інформація включає в себе сучасні знання про забруднення навколишнього середовища за допомогою даного виробництва. І, зокрема, це знання, пов'язані з одержуваними обов'язковими відходами даного виробництва [3, 4, 5, 6].

Інформація, поряд з сировинною базою, методами і технічними засобами її цілеспрямованої переробки, енергією, яка використовується на даному виробництві, є рівноправною складовою будь-якого виробництва.

Найбільш типова дилема, що стоїть перед суспільством, полягає в наступному. Доцільність отримання необхідного ліквідного продукту і супутніх відходів із обізнаним ступенем шкідливості, чи відмова від продуктів на користь чистого навколишнього простору. Як варіант — здійснення виробництва з подальшим очищенням або мінімізацією потоків утворення відходів. Як правило, суспільство йде останнім шляхом, змушуючи себе героїчно творити безліч відходів, а потім, не менш героїчно, боротися з ними. Причому остання функція завжди дається важко, про що свідчать величезні запаси відходів,

у порівнянні з накопиченням реалізованої товарної продукції, заради якої і створюється дане виробництво.

З позицій інформації розвиток виробничих систем визначається не тільки їх технічним станом або можливостями використовуваних технологій. Людина, як складова виробничої системи, як носій інформаційних потоків і як суб'єкт участі в управлінні, у взаємодії з факторами зовнішнього середовища, є одним із найважливіших визначальних факторів в залежності від бажань або потреб самої людини. Ніякі технічні нововведення, ніякі інші перешкоди не будуть вирішальними, якщо сама людина, як носій такої інформації, цього не хоче, якщо це не буде порівняним з її потребами. Це визначається тим рівнем самоорганізації, який людина постійно демонструє в розвитку суспільства. У тому числі і в сфері своєї виробничої діяльності.

Ми приділимо увагу цьому аспекту «інформаційного обслуговування» будь-якого виробництва, оскільки, по-перше, в літературі досить повно викладені основи управління виробничими системами за допомогою інформаційних потоків [7, 8, 9, 10], а по-друге, тим самим підкреслюємо роль суб'єктивних факторів у вигляді керуючих повідомлень, головним чином у тій частині, яка стосується переваг людини в системі «економіка — екологія».

Основною перевагою, заради якої створювалися всі виробничі системи, було створення умов, перш за все, для отримання якихось корисних продуктів, які, маючи споживчу або товарну цінність, стали в нагоді їх творцеві або в побуті, або як товар на продаж. Інших цінностей виробничі системи не мали. До ХХ століття такі цінності, як стан навколишнього середовища, як вартість відходів виробництва, взагалі не визнавалися суспільством. Їх не було в переліку загальнолюдських переваг, вони не підходили під масштаб пріоритетного вибору для людини. А дарма, як показала історія.

Якщо суспільству або конкретній людині потрібно було мати хліб, вона прагнула послідовно готувати і засівати поле, вирощувати злаки, збирати ці злаки, молоти борошно, замішувати тісто, а вже тільки потім випікати наявний потрібний продукт — хліб. Незважаючи на те що, наприклад, на першому етапі, при обробці поля, кінцева мета не досягається, людина мала послідовні потреби у виконанні цієї роботи — з перспективою на майбутній результат. Це було продиктовано розробленою технологією виробництва і тому строго виконувалося. При цьому вирощування зернових — це лише якийсь проміжний етап, але необхідний заради кінцевої мети — хлібного короваю. На етапі вирощування зерна хліба ще не буде. Але людина самоорганізовується таким чином, що здійснює послідовне виконання всіх проміжних робіт із метою досягнення кінцевої мети — отримання харчового продукту.

У технології виробництва хліба не знайшлося місця технологіям переробки відходів. У процесах досягнення кінцевої мети спочатку відсутні роботи, пов'язані, наприклад, з утилізацією соломи, остистих залишків, інших відходів

від цього виду діяльності. Отримані відходи просто викидали. Або частину віддавали худобі. При цьому поле було виснажене від мікроелементів, становилося непридатним для наступного засіву і також майже втрачалося як своєрідні відходи. Теоретично, заради отримання хліба в певний обмежений проміжок часу не потрібно додатково обробляти соломку, не потрібно прибирати її з полів.

Так само не потрібно додатково переробляти металургійний шлак з метою отримання готового прокату. У людини таких потреб немає. Їй потрібен тільки метал, матеріал для будівництва житла, створення транспортних засобів і т. д. І їй не потрібні шлаки, відходи металургійного виробництва. Навіть коли сама природа почала «підказувати», що терикони руйнують територію проживання самої людини, що солома, остисті залишки її засмічують поле і згодом будуть перешкоджати збору зерна необхідної якості, це ще не стало аргументом з області людських потреб, відповідно до якого вона буде прибирати соломку або перетворювати отриманий шлак у щось інше.

Ключовим моментом у такому «параді інтересів» є мотивація, система переваг, вибір шляхів вирішення проблеми. Підкреслимо, що саме ці якості є визначальними при вирішенні завдань мінімізації відходів. Вони, як правило, пов'язані з суб'єктивною мотивацією тих чи інших робіт, певними цілями [11].

Спочатку, навіть переробка отриманих відходів не була явною перевагою для людини. Ми намагалися пояснити, чому людина протягом багатьох століть у своїй виробничій діяльності не мала потреби в переробці відходів, не мала бажання «прибирати» за собою. Поки природа справлялася з цим самостійно!

Можна спробувати довести, що еволюція таких систем, як виробничі системи, ґрунтується не тільки на об'єктивних законах фізики і хімії, а й на суб'єктивних перевагах членів суспільства, які так чи інакше пов'язані з цими системами і засновані на їх інформативності. Причому не завжди ці переваги поширюються на більшість членів цього суспільства. Найчастіше це інтереси окремих груп, або навіть окремих осіб, що залежать від їх власного впливу в цьому суспільстві. Як зараз кажуть — виробників. В результаті екологічні проблеми стають в один ряд із проблемами соціальної значущості, які поступово перетворюються в низку нерозв'язних соціальних протиріч між цілями і завданнями споживчого суспільства і проблемами виживання всього людства на цій планеті.

Таким чином, однією з найважливіших парадигм у системі суспільного виробництва є сукупність факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, з одного боку, і бажань (потреб) самої людини, з іншого. Суб'єктивні фактори виробничої діяльності не можна скидати з рахунків. Більш того, вони засновані на минулому досвіді, здатні до саморозвитку і самоорганізації, і мають свій вплив на розвиток продуктивних систем самого суспільства.

Не заглиблюючись у теорію економічних переваг [12], ми приймемо її в тій частині, в якій споживчим товаром може бути не тільки готова продукція, а й перероблені певним чином відходи [13].

Вище ми показали, чому перевага у виборі товару з числа елементів корисного продукту апіорі мала пріоритет перед вибором відходів як якогось можливого товару. А в якому випадку самі відходи можуть мати перевагу в групі корисних товарів? А якими можуть бути умови переваги відходів виробничої діяльності, щоб вони не були відкинуті суспільством безповоротно? На перший погляд, на це риторичне питання є тільки одна негативна відповідь. Якби не сучасний «парад» екологічних переваг, які раніше не узгоджувалися зі споживчими та економічними перевагами. Сьогодні суспільство розуміє, що перевага економічного добробуту над екологічним благополуччям стає синонімом глобальних катастроф і друге з них не може не враховуватися як переважне, якщо людство прагне вижити на цій планеті. У зв'язку з цим виробнича система, що включає три взаємопов'язаних матеріальних потоки, має право бути тим об'єктом, для якого може бути застосована методика мінімізації відходів у джерелі походження, тобто в самій виробничій системі.

Розглянемо систему «сировина — продукція — відходи», скорочено « $S-P-O$ » (рис. 4.1), в якій відбувається матеріальний обмін між усіма її складовими. Існує альтернативний вибір (див. рис. 4.1, а). У виробничих системах він здійснюється, як правило, на користь виробництва, тобто отримання корисної продукції з товарними властивостями. Тому є явні переваги для прямого каналу « $S-P$ ». Але також є варіант переваги або вибору типу « $P-O$ » (див. рис. 4.1, б), що описується співвідношенням ступенів привабливості для людини $P \frac{\alpha_o}{\alpha_p + \alpha_o}$ (позначення на рис. 4.1) і еквівалентним зворотним каналом (петля зворотного зв'язку) « $O-S-P$ » (див. рис. 4.1, в), коли відходи можуть володіти деякими властивостями сировини з типовим коефіцієнтом привабливості $O \frac{\alpha_s}{\alpha_o + \alpha_s} \cdot \frac{\alpha_p}{\alpha_s + \alpha_p}$ і також здатні перетворюватися в продукцію в рамках одного виробничого процесу. Тут індексами « s », « p », « o » відзначаються можливості умов, при яких суб'єкт вибирає відповідний матеріальний потік (для виробництва продукції або для поводження з відходами). Співвідношення ступенів привабливості того чи іншого сценарію управління матеріальними потоками в системі типу $\alpha_o/\alpha_s < 1$, $\alpha_s/\alpha_p \geq 1$, $\alpha_o/\alpha_p \geq var$ дають уявлення про вибір, який робить цей суб'єкт. Нас можуть зацікавити відносини типу α_o/α_p , які відображають перевагу між екологічним благополуччям та економічним добробутом, таким чином, що $\alpha_o/\alpha_p \rightarrow 0$. Це мотивує нас вибирати методи мінімізації відходів, зокрема шляхом впровадження циклів зворотного зв'язку в моделі « $S-P-O$ ».

Петля зворотного зв'язку надає можливості для певного контролю за процесами зміни якості і властивостей компонентів окремих матеріальних потоків: сировини, продукції, відходів таким чином, щоб допомогти мінімізувати останні в джерелі формування, тобто в процесі виробництва.

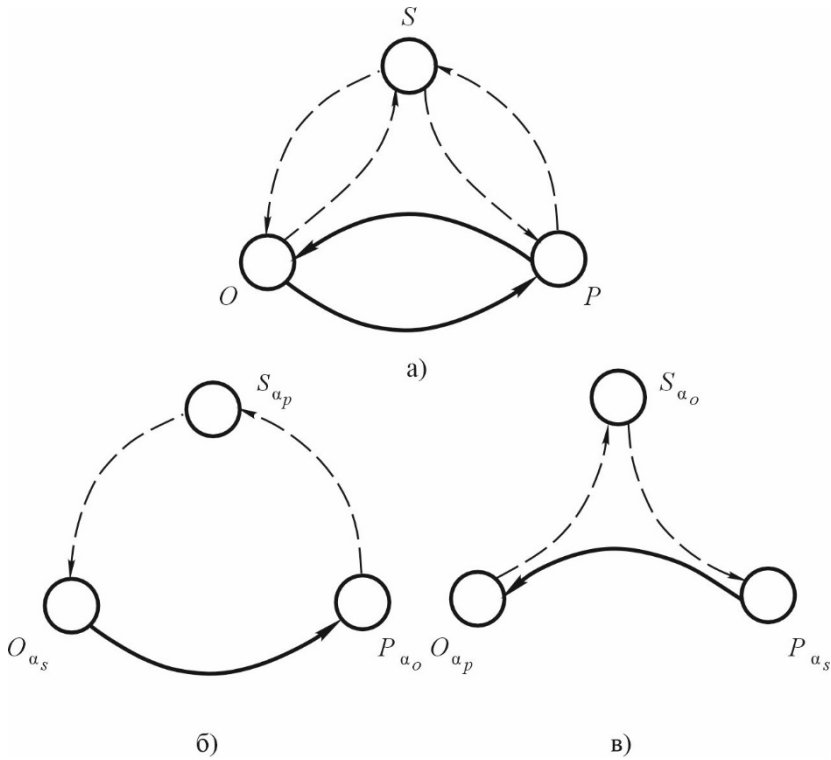


Рисунок 4.1 — Контури зворотного зв'язку в тривимірній системі координат потоку, що відображають реалізацію вибору, за умови наявності трьох варіантів переходу матеріального потоку на продукцію, α_p , відхід α_o або вторинну сировину α_s , в рамках однієї виробничої системи α .

В даному випадку покажемо, що вибір контуру зворотного зв'язку типу « $S-P-O$ » відбувається або у вигляді відходу « $O-S$ », що має властивості сировини для переробки в готову продукцію з використанням додаткових джерел енергії певної якості, або у вигляді вже готової продукції, яка виходить за рахунок наявної в системі енергії в системі « $O-P$ ». Складемо лінійні рівняння балансу для таких випадків з урахуванням того, що виконується умова прямого балансу $S_s = P_p + O_o$. Для бази відходів O_{α_p} , з урахуванням граничного стану $\alpha_o/\alpha_p \rightarrow 0$.

$$\begin{aligned} \frac{dO_{\alpha_p}}{d} &= \alpha_s O_{\alpha_s} \left(S_{\alpha} \frac{\alpha_s}{\alpha_o + \alpha_s} \cdot \frac{\alpha_p}{\alpha_s + \alpha_p} - P_{\alpha} \frac{\alpha_p}{\alpha + \alpha_p} \right) = \\ &= \alpha_s O_{\alpha_s} P_{\alpha} \left(\frac{S_{\alpha}}{P_{\alpha}} \cdot \frac{\alpha_s}{\alpha_o + \alpha_s} \cdot \frac{\alpha_p}{\alpha_s + \alpha_p} - 1 \right). \end{aligned} \quad (4.1)$$

Тут $\frac{\alpha_p}{\alpha_o + \alpha_p} \rightarrow 1$.

Аналогічне рівняння може бути складено для зміни виробничої бази P_{α_o} , в яку інтегрується альтернативний вибір типу « $O-P$ » зі зворотним зв'язком « $P-S-O$ » (див. рис. 4.1).

$$\begin{aligned} \frac{dP_{\alpha_o}}{d\tau} &= \alpha_s P_{\alpha_s} \left(S_{\alpha_p} \frac{\alpha_s}{\alpha_p + \alpha_s} \cdot \frac{\alpha_o}{\alpha_s + \alpha_o} - O_{\alpha_p} \frac{\alpha_o}{\alpha_p + \alpha_o} \right) = \\ &= \alpha_s P_{\alpha_s} O_{\alpha_p} \left(\frac{\alpha_s}{\alpha_p + \alpha_s} \cdot \frac{\alpha_o}{\alpha_s + \alpha_o} \right), \end{aligned} \quad (4.2)$$

а також на зміну балансу сировинної бази в зв'язку з виявленими перевагами при розподілі відходів (тут $\frac{\alpha_o}{\alpha_p + \alpha_o} \rightarrow 0$ і в негативній межі $\frac{S_{\alpha_p}}{\alpha_p} = 1$).

$$\frac{dS_{\alpha_o}}{d\tau} = \frac{\alpha_s S_{\alpha_p} O_{\alpha_s}}{2} \left(\frac{S_{\alpha_s}}{O_{\alpha_s}} \frac{\alpha_o}{(\alpha_s + \alpha_o)} - 1 \right). \quad (4.3)$$

Рівняння (4.1–4.3) відносяться до лінійних рівнянь першого порядку з простим рішенням і відображають тільки ідеальні умови зміни основних матеріальних потоків, які можуть бути обрані з існуючих переваг. Вони жодним чином не можуть враховувати енергетику виробничої системи, яка може єдиним чином правильно впливати на стан складових матеріальних потоків сировини, відходів і готової продукції в необхідному напрямку. Тому цей найважливіший фактор приховується в суб'єктивних перевагах тих, хто керує цією системою, хто вирішує, яку енергію і як вибрати для управління цими потоками. Вибір методу або переваги повинен бути порівняним не тільки з можливостями енергетичного впливу, але і з існуючим рівнем розвитку науки і техніки, що дозволяє реалізувати ці можливості.

Рішення рівняння (4.1) полягає в знаходженні зв'язку $\frac{O_{\alpha_p}}{P_{\alpha_o}} = f(\tau)$. Рішення рівняння (4.2) відноситься до співвідношення $\frac{P_{\alpha_o}}{O_{\alpha_p}} = \varphi(\tau) = \frac{1}{f(\tau)}$. А рішення рівняння (4.3) має вигляд $\frac{S_{\alpha_o}}{O_{\alpha_s}} = \psi(\tau)$.

Таким чином, скорочення відхідної частини матеріальних потоків у рамках самої технології здійснюється за рахунок зростання її продукційної частини таким чином, щоб утримувалося співвідношення $\frac{\alpha_p}{P_{\alpha}} \rightarrow 0$, а тому $\alpha_o/\alpha_p \rightarrow 0$.

Відмінність цієї парадигми полягає в тому, що база відходів мінімізується в самому технологічному процесі, в самій виробничій системі, а не поза нею. Реальна мінімізація відходів відбувається за рахунок ресурсів самої виробничої системи, про що свідчить це співвідношення.

Рішення проблеми полягає в наступному.

Представимо в двовимірній системі координат $Y(X)$ відношення матеріальних потоків, пов'язаних із виробничою системою. Нехай $X \equiv X_s, X_p$, і $Y \equiv Y_0$. Вектор OX_s на рис. 4.2 відображає загальний матеріальний потік сировинної бази. Вектор OX_p відображає потік готової продукції. Виразження $X_p X_s = 0X_s - 0X_p$ існує як кількісна сутність бази відходів, тобто втрати в даній виробничій системі. Якщо перенести координати матеріальних потоків осі X на ось Y , то різниця векторів $0Y_2 - 0Y_1$ по осі Y відповідає різниці $0X_s - 0X_p$ по осі абсцис та визначає відходоутворюючу частину матеріальних потоків. Тут $0Y_1 - 0X_p$ є не що інше, як відкладені післяексплуатаційні відходи системи, тобто продукти, які поступово втратили свої експлуатаційні якості і через деякий час відправляються у відходи. А умова $0Y_2 - 0S$ означає очевидне, що практично вся сировинна база будь-якої виробничої системи в часі прагне до її відхідної складової.

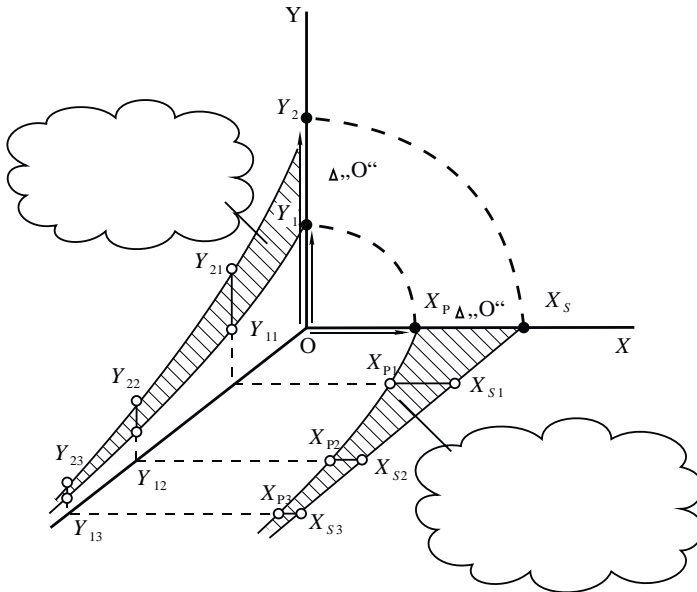


Рисунок 4.2 — Відображення двох груп способів мінімізації відходів у залежності від переваг при виборі цілей і завдань з боку суб'єкта виробничого процесу

У тривимірній сітці координат (див. рис. 4.2), де присутня часова координата τ , варіації векторів у координатах $X0\tau$ і $Y0\tau$ будуть істотно відрізнятися (див. рівняння 4.1–4.3).

Якщо в першій системі координат $X0\tau$ маємо варіативну асимптотичну апроксимацію

$$X_p(\tau) \rightarrow X_s, \quad (4.4)$$

то в системі координат $Y_0\tau$ при $\tau = 0$ чисельно рівні величини $Y_1 = X_p$ і $Y_2 = X_s$, при зміні $\tau > 0$ мають вигляд залежностей типу

$$0Y_1 \rightarrow 0; 0Y_2 \rightarrow 0. \quad (4.5)$$

Співвідношення (4.4) по суті відображає процеси мінімізації відходів при їх створенні в самій виробничій системі шляхом побудови для цього відповідних умов. Іншими словами, це напрямок мінімізації відходів у джерелі створення.

А співвідношення (4.5) приводить нас до вже відомих емпіричних методів мінімізації існуючих відходів, вже після їх появи в результаті виробничої діяльності, зокрема, мінімізації, пов'язаної з методами компонентної диференціації матеріального потоку відходів, поіменованих у побуті як поділ відходів перед їх переробкою, а також у післяексплуатаційний період існування продукту та ін.

Як бачимо з графіків, це різні процеси в плані операцій над матеріальними потоками. Вони не збігаються, перш за все, через різницю внутрішніх механізмів, що лежать в основі цих процесів. Зокрема, якщо до перших відносять процеси переробки відходів із використанням зовнішніх енергоресурсів, то другі вигідно відрізняються використанням внутрішніх енергоресурсів самої виробничої системи.

Умови (4.4) і (4.5) принципово відрізняються для реалізації. З другим з них ми зустрічаємося кожен раз, коли намагаємося вирішити проблему зберігання, переробки, утилізації вже отриманих відходів. Умова (4.4) вимагає застосування досі незрозумілих методів поводження з відходами всередині самого джерела їх походження. Тобто, як пояснення — в рамках технологічного процесу сировина має перероблятися таким чином, щоб жодна її частина не була втраченою, а була перетворена в корисний продукт, що має власну споживчу вартість, і що дає їй право реалізовуватися у вигляді товару. Від чого це залежить, принаймні сьогодні, наука поки не дає відповіді. Просто змусити, наприклад, кремній, фосфор і т.д. перероблятися в окремі компоненти в процесі доменної печі разом із переробкою заліза і вуглецю в чавун неможливо. Але такого завдання перед цією технологією ніколи і не ставилося. Однак ідея, яка має хоч якісь теоретичні передумови, повинна мати практичне застосування.

Спробуємо це показати.

ГЛАВА 5

ЕНЕРГЕТИКА УТВОРЮВАННЯ ВІДХОДІВ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

-
-
- 5.1. Загальні положення
 - 5.2. Місце виробничих систем у термодинамічному різноманітті
 - 5.3. Особливості енергоентропійної теорії у застосуванні до явищ утворення відходів
 - 5.4. Деякі закономірності впливу енергетики виробничого процесу на утворення відходів
 - 5.5. Дослідження проблеми Тьюрінга стосовно відходоутворюючих виробничих систем
 - 5.6. Особливості зовнішнього енергетичного збудження брюселятора, як один із можливих механізмів мінімізації утворення відходів в осередку виникнення
-
-

5.1. Загальні положення

Енергоперетворююча діяльність, як ще одна обов'язкова складова будь-якого виробництва, і яку необхідно витратити для того, щоб отримати корисну продукцію тим чи іншим способом, в рівній мірі відноситься і до процесів утворення відходів. Вона представляє для нас першочерговий інтерес, якщо розглядати виробництво як предмет оптимізації, як об'єкт раціонального управління. Ця ж енергія зазвичай використовується для виробництва відходів. Енергетика будь-якого виробничого процесу дуже сильно пов'язана з процесами утворення відходів.

Навіть у першому наближенні на виробництво відходів витрачається значна частина дорогої енергії. І чим більше відходів у виробничій системі, тим більше енергії вимагає це виробництво. І тим більше енергії безповоротно втрачається. В результаті підвищується енергоємність цього виробництва. Порівняємо деякі показники утворення відходів і споживання енергії в різних галузях промисловості і на різних підприємствах (табл. 5.1).

Навіть побічно очевидна залежність між кількістю вироблених відходів і енергоємністю конкретного виробництва. Підприємство прагне знизити один з найважливіших техніко-економічних показників — енергоємність виробництва. При цьому вирішуються всілякі технічні, технологічні, економічні, цінові проблеми. Однак дуже рідко підприємство розглядає оптимізацію процесів утворення відходів як ресурс зниження енергоємності виробництва.

Таблиця 5.1 — Порівняльні дані по утворенню відходів і енергоспоживанню на різних підприємствах галузей промисловості

Назва галузі, підприємства	Загальне споживання енергії, ГДж/т	Утворення відходів, т/т
<i>Металургія</i>		
Металургійний комбінат «МеЧел»	25,8	0,325
«Тіссен Круп Сталь» AG	18,9	0,013
«Клекнер Верке» GMBH	16,4	0,008
<i>Гірничовидобувальна промисловість</i>		
Лебединський ГОК	20,01	511
НКГОК	22,3	561
Керченський ГОК	28,1	788
<i>Легка промисловість</i>		
ПО «Москвичка» (Росія)	0,111	0,0095
«ВАРЕМА» GMBH (Німеччина)	0,014	0,0022

Існує три критерії, за якими визначається роль енергопостачання в тому чи іншому технологічному процесі. Це якість енергії, її кількість і ентропія системи. Всі три критерії взаємопов'язані, але кожен з них по-своєму характеризує вплив енергії на процеси утворення відходів.

За якісним складом енергоносії діляться на регенеративні (сонячна енергія, енергія вітру, енергія води, рух хвиль в океані, тепло морської і океанічної води, тепло Землі, біомаса Землі) і нерегенеративні (торф, вугілля, нафта, газ, атомна енергія). У численних технологічних процесах, які винайшла людина, а їх налічується понад 300 000, найчастіше використовуються невідновлювані джерела енергії. Лише в 2,5% випадках це регенерована енергія вітру, сонця, морських хвиль і т. д.

Головною особливістю нерегенеративних джерел є їх неповне використання. Тому слід вважати, що невідновлювані енергоносії самі є джерелами відходів, серед яких зола, кристалічний пил, гази у вигляді оксидів сірки, азоту, вуглецю, вуглеводнів. При цьому розмір збитку, заподіяного в результаті виділення енергії з невідновлюваних джерел, залежить від виду енергоносія. Зокрема, по діоксиду вуглецю представлені дані за матеріалами [1] (табл. 5.2).

Безумовно, стихійна відходоутворююча функція невідновлюваних джерел енергії є домінуючою для людини з точки зору їх впливу на навколишнє середовище.

Спробуємо звернути увагу на ще одну функцію енергії, пов'язану з опосередованим впливом на природне середовище через функції утворення відходів, що виявляються в процесі виробництва, де ця енергія використовується.

Таблиця 5.2 — Питомі викиди вуглекислого газу при вивільненні енергії з невідновлюваних джерел

№	Назва енергоносія	CO ₂ (кг) в розрахунку на:		
		1 т умовного палива	кВт·ч теплової енергії	кВт·ч електричної енергії
1	Буре вугілля	3250	0,40	1,18
2	Вугілля	2680	0,33	0,97
3	Нафта	2305	0,29	0,85
4	Природний газ	1510	0,19	0,53

5.2. Місце виробничих систем у термодинамічному різноманітті

Наука про виробництво матеріалів або інших корисних предметів тісно пов'язана з дослідженнями в області нелінійної динаміки, а саме з сильно *нерівноважними системами*. Саме ця властивість викликає зміни, що в кінцевому підсумку призводять до появи нових матеріалів, нових корисних продуктів з якоїсь сировини. Це було відзначено як факт у своїх роботах І. Пригожиним ще в 1990 році [2], а раніше як гіпотезу згадували ці ідеї і С. Пікро та його колеги [3], і В. Балакрішнан із колегами [4]. Зокрема, такі механізми, як явища переносу, дифузія, термодифузія, теплообмін, в'язкий потік, фазові перетворення, пластичні деформації та ін., які реалізуються тільки в умовах, коли в системі є деякий *нестійкий* градієнт за певними параметрами (керований якимось зовнішнім енергетичним полем), зміна яких дозволяє отримувати нові, корисні стани речовин, створювати нові комбінації цих речовин, надавати їм нових властивостей. Тобто, все, що надає їм якість корисного продукту [5].

Класична термодинаміка успішно оперує такими поняттями, як *незворотність*, *нерівноважність* і *нестійкість* систем, переважно нелінійних. Як правило, вони відносяться до відкритих систем, які складають більшість, у порівнянні із замкнутими системами, для яких, у свою чергу, вірний класичний другий закон термодинаміки. Кожне з цих понять значно розширює розуміння сутності таких процесів, як дисипація (розсіювання) енергії, синергія, або самоорганізація матерії у відкритих системах. Для нас ці властивості складних систем, яким приділяється велика увага в багатьох роботах не тільки з термодинаміки та енергоентропіки, але і в філософських та інших працях [6, 7, 8], є актуальними тому, що ми сміємо переконатися, що природа процесів, що лежать в основі явища утворення відходів, полягає в їх термодинаміці, в способах управління матеріальними потоками в системі, за допомогою енергетичних ресурсів різної якості і з різноманітних джерел.

Такі поняття, як замкнутість або відкритість термодинамічних систем, мають своє відношення до існування або відсутності потоків зовнішньої енергії для даної системи. Як правило, замкнуті системи мають встановлений баланс енергії і використовують тільки власну енергію, частина якої в результаті певних перетворень, пов'язаних із виконанням роботи всередині такої системи, набуває властивість необоротно перетворюватися в найменш ефективну теплову енергію і безповоротно розсіюватися, забезпечуючи незворотне зростання ентропії.

Суть незворотності в складних системах зводиться до того, що процеси в них мають лише односпрямований розвиток. У зворотному напрямку такі процеси можуть відбуватися тільки в тому випадку, якщо застосовується зовнішній вплив (якщо це можливо в конкретному випадку). Математичний опис незворотності пов'язано з відсутністю інваріантності перетворень типу $\tau = -\tau$. Незворотності складних систем присвячено багато досліджень, основна суть яких пов'язана зі світоглядними проблемами існування і розвитку природи [9]. В тому числі, що важливо для наших досліджень, щодо розвитку технічних систем та технологічних процесів. Класичною в цьому відношенні є робота Г. Ніколіса та І. Пригожина «Познание сложного» [2], в якій автори дуже аргументовано підтверджують асиметричність і незворотність явищ у природі як головну якість, що стимулює її розвиток. Такі цікаві для самоорганізації процеси, як біфуркація, різні флукутації, явища нестійкості і нерівноважності, є основою забезпечення такої динамічності системи, яка стимулює в ній синергетичні процеси. Стверджується, що будь-який незворотний процес досягнення нового стану системи одночасно є нерівноважним.

Ми намагаємось розглянути цю проблему з позицій утворення відходів виробничих систем. Чому саме ці системи беруться до уваги? Тому що через штучне походження виробництво можна віднести до світу плюралістичних явищ, в якому, за логікою І. Р. Пригожина, *можуть співіснувати оборотні і не-оборотні процеси* [9].

Слід зазначити, що ентропія, як фізична величина, визначається тільки розрахунком і доказова по відношенню до систем, для яких можна емпіричним шляхом побудувати феноменологічні залежності, що описують деякий термодинамічний (і не тільки) процес, що лежить в основі досліджуваного явища.

Поняття *процесу* тісно пов'язане з розумінням переходів системи з одного стану в інший. Це легко *відображається* за допомогою теорії графів, як вислів $x_{i-1} \rightarrow x_i$. Тут та x_i — деякі послідовні (попередні та наступні) стани системи, які досягаються в ході виконання певних ф-дій, що складають основу цього процесу [10]. Під час здійснення процесу, як правило, ми маємо справу з перехідними станами системи, що відображають її динамічність, зміни параметрів системи в часі.

Ввівши до термодинаміки поняття *рівноважності* процесу, були запущені механізми ідеалізації реальних систем. Посилаючись на міркування Кириліна

та ін., можна сказати, що цим поняттям у термодинаміку було «введено» поняття часу, яке розділило системні процеси на рівноважні і нерівноважні, але тісно пов'язані з поняттям зворотності. Для будь-якої системи характерним є явище незворотності і неповторюваності в часі. З іншого боку, «будь-який процес стає рівноважним, якщо швидкість цього процесу прагне до нуля» [11]. Будь-яка швидкість зміни, відмінна від нуля, робить процес або систему нерівноважними. «При цьому будь-який нерівноважний процес є незворотним, а будь-який рівноважний процес за приналежністю є зворотним. Іншими словами, **причина незворотності реальних процесів криється в їх нерівноважності**» [12]. Ці висновки стають все більш відчутними, якщо їх застосувати до технічних систем, особливо до технологічних процесів, пов'язаних з виробництвом товарної продукції і одночасних відходів.

Рівноважні процеси відносяться не тільки до різноманіття фізико-хімічних процесів, але і до багатьох механічних процесів, пов'язаних із падінням ваги (досліди Джоуля), з плавленням простим тертям (досліди Деві), різними адіабатичними процесами в квазістатичному стані (досліди Люммера, Партінгтона, Клемана). Звідси випливає один висновок, на який не часто посилаються: неможливо абсолютно точно здійснювати один і той же термодинамічний процес у прямому і зворотному напрямках, оскільки нерівноважність і пов'язана з ним незворотність є функціями часу [13].

Поняття технічної системи і технологічного процесу можна співвіднести з термінами, які використовуються в системній динаміці для опису термодинаміки [13] і не тільки. Нас будуть цікавити всього два поняття: *стан системи* і *процес*, в якому знаходиться система. Перший відображає сукупність властивостей системи (x_i), параметри яких утворюються в результаті зовнішніх впливів, а другий відображає закономірні і послідовні ϕ -зміни стану системи [10] і її часові характеристики у вигляді ($x_i(\tau)$), як сутність низки дій. Останнє поняття пов'язане з ідеєю феноменологічності (підтвердженості експериментом, але для якої поки не має теоретичного пояснення) багатьох явищ у техніці, біології, медицині, економіці і навіть у соціальних системах.

Згідно з абстрактним судженням, у технологічному процесі до станів (x_i) слід віднести, перш за все, компонентно розподілену сировинну базу і відповідні до неї джерела енергії. А процеси (ϕ) повинні включати в себе послідовні у часі результати впливу тих чи інших джерел енергії за певними законами на кожен із компонентів сировинної бази і їх перетворення, які надають їм, в кінцевому результаті, якість товарної продукції або відходів. У цьому випадку важливо мати уявлення про сукупність експериментальних даних, що відображають цей процес із можливістю побудови деяких феноменологічних залежностей і моделей на основі цих даних.

Стан рівноважності — це стан, до якого приходять система при незмінних зовнішніх умовах. Це граничний випадок, пов'язаний з тимчасови-

ми змінами стану системи. Повний стан рівноваги — це швидше виняток, ніж правило. Найбільш природним станом системи є той, що є далеким від рівноваги. Тому Ларс Онзагер запропонував вивчення слабо нерівноважних систем, що розташовані біля рівноважного стану, як альтернативу чисто рівноважному її стану.

Умову рівноважності системи з керуючими впливами з боку зовнішнього середовища можна представити у вигляді емпіричного рівняння Пфаффа загального вигляду

$$\varphi[\tau, x_i(\tau)] = \varphi'[\tau, x'_i(\tau)]. \quad (5.1)$$

Вона дає уявлення про збіг властивостей початкової системи і системи для порівняння шляхом емпіричної залежності з функцією φ . Це рівняння визначає сумірність стану двох термодинамічних систем з функціями φ і φ' для окремих параметрів $x'_i(\tau) \sim x_i(\tau)$. Такий стан вихідної системи відповідає рівноважному по відношенню до впливу на неї зовнішнього середовища.

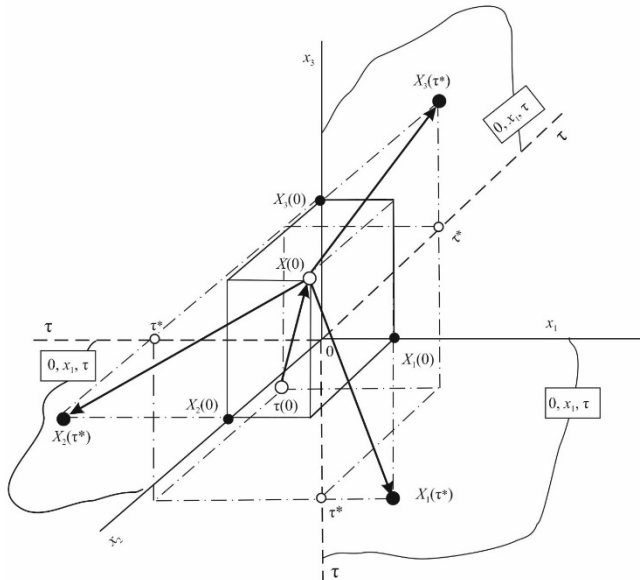


Рисунок 5.1 — Поле емпіричних мір стану системи в тривимірному координатному просторі $0, X_1(x_2, \tau), X_2(x_3, \tau), X_3(x_1, \tau), \tau$ як характеристика сукупного стану системи

Для побудови феноменологічних закономірностей зручно використовувати узагальнене поняття *емпіричної міри стану* $w(x_i)$, яке комплексно характеризує сукупний стан системи у вигляді емпіричних залежностей певного різноманіття параметрів її атрибутивних властивостей x_1, x_2, \dots, x_n , представлених у певному n -вимірному просторі координат. А. Гухман вдало називає цю величину

величиною *матеріального впливу* [24] для різних систем, пов'язаних зі зміною стану і закінченням певних процесів. У термодинаміці вона покликана бути мірою тимчасових змін. Тому спочатку параметр $w(x_i)$ може мати вигляд певної функціональної залежності W , і, як показано в [13], ця залежність є залежною від часу у вигляді $w(\tau) = W(\tau, x_1, x_2, \dots, x_n)$ таким чином, що $x_i = x_i(\tau)$, $i = 1, 1, n$. Цей вислів відповідає функціональній залежності для нерівноважного процесу.

Наприклад, для багатовимірного диференціального рівняння Шиллера для трьох змінних $X_1 dx_1 + X_2 dx_2 + X_3 dx_3 = 0$, яке відображає адіабатичні зміни в системі в тривимірній координатній сітці (рис. 5.1), умова, близька до ідеальної адіабатичної рівноваги, представляється точкою $X(0)$, а в часових координатах для кожної змінної $x_i(\tau)$ представляє непорівнянні векторні залежності функцій типу $X_i(\tau^*)$, що ілюструє постулат про «адіабатичну недосяжність» як винятковість, навіть поблизу рівноважного стану системи. Тут x_i — вказані параметри стану системи, X_i — функції цих параметрів, кожна з точок $X_i(\tau^*)$ відноситься до простору станів X_n у n -вимірній системі координат. При цьому в багатовимірній сітці Мінковського $[0, \tau^*, X_1(x_2, \tau^*), X_2(x_3, \tau^*), X_3(x_1, \tau^*)]$ параметричні значення $X_i(\tau^*)$ в площинах $[0, x_i, \tau^*]$ не мають сумісної поверхні управління і співвідносяться з вихідними значеннями типу $X_i(\tau^* = 0)$ тільки векторними відносинами (див. рис. 5.1). Метричний тензор для такої системи координат представляється як

$$q = \begin{vmatrix} \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 \end{vmatrix},$$

в яких справедливими є інтервали

$$\Delta r_1 = \overline{(X(0), X_1(\tau^*))} = \sqrt{c^2 (\Delta \tau^*)^2 + (\Delta X_1)^2 - (\Delta X_2)^2 - (\Delta X_3)^2}; \quad (5.2)$$

$$\Delta r_2 = \overline{(X(0), X_2(\tau^*))} = \sqrt{c^2 (\Delta \tau^*)^2 + (\Delta X_1)^2 - (\Delta X_2)^2 - (\Delta X_3)^2}; \quad (5.3)$$

$$\Delta r_3 = \overline{(X(0), X_3(\tau^*))} = \sqrt{c^2 (\Delta \tau^*)^2 + (\Delta X_1)^2 - (\Delta X_2)^2 - (\Delta X_3)^2}; \quad (5.4)$$

Розмір кожного з інтервалів пропорційний відповідній координаті $x_i(0)$, що дозволяє судити про їх пропорційність у системі адіабатичної недосяжності як у межах цієї матриці, так і на її кордонах. Якщо точки розглянутого простору відносяться до однакового часу τ^* , то запропонована схема (див. рис. 5.1) зводиться до тривимірного простору. Але, якщо час для координат x_i різний (τ_i^{**}), то такий час виступає як четвертий вимір у просторі Мінковського і підлягає аналізу.

Найбільш засвоєний тип феноменологічної моделі можна співвіднести з емпіричним співвідношенням параметрів: величиною матеріального впливу $w(x_i)$ і часовим параметром (τ). Найпростіше емпіричне рівняння відношення міри стану з часовою координатою може бути наступним: $k_i = (dW/d\tau)_i$. Роль функції величини матеріального впливу може грати, наприклад, кількість тепла, температура, електричний струм, тиск, продуктивна біологічна маса тощо, в залежності від типу системи. Зміна цих параметрів у часі як забезпечення протікання певного процесу відображається однією з n -координат.

Таким чином, будь-які динамічні зміни в системі обов'язково пов'язані зі зміною окремих параметрів її властивостей, включаючи час. Деякі з них визначаються виключно емпіричним шляхом, складаючи базу даних для феноменологічних моделей.

Функція емпіричної міри станів (W) і функція (φ) в термодинаміці пов'язані емпіричними залежностями типу $dW = k_i d\varphi$, де k_i — емпіричні параметри, що відображають перехідні процеси в системі та визначаються тільки експериментально. Наприклад, $\varphi = T(x_i)$ — аналітична функція температури в координатах змінних x_i , яка встановлює її зв'язок з емпіричним значенням точки $X(0)$ (див. рис. 5.1). Зокрема, рівняння, що визначає кількість теплоти, витраченої при зміні температури системи, зазвичай записується як $c_i = dq(x_i)/dT$ і також визначається з експериментальних даних. Його рішення є об'єктивним тільки в околі точки $X(0)$ у координатах $(0, x_1, x_2, \dots, x_n)$ для стаціонарних процесів.

Для спрощення розглянемо динамічну залежність виду $c_{H_2O}(T, \tau)$ в околі точки $c_{H_2O}(T = 293K, \tau = 0)$ (рис. 5.2). Відома залежність питомої теплоємності води c_{H_2O} від температури, яка має емпіричний вигляд функції прогину [14] з мінімальним значенням при температурах 36–37 °С. Приймемо умови зниження температури в системі за проміжок часу $\tau = 0 \div \tau^*$ відповідно до емпіричної залежності (див. рис. 5.2). Кожній точці $c_{H_2O}(T, \tau = 0)$ у даній системі координат стану системи $w(x_1, x_2)$ відповідає значення деякої емпіричної міри (w) у нескінченно близькій області ($w \pm \Delta w$). У цьому випадку величини $c_{H_2O}(T, \tau = 0)$ пов'язані між собою феноменологічними залежностями узагальненого типу $dw = c_i dT$, які спочатку мають тільки експериментальне підтвердження і тому є феноменологічними.

Метод обробки даних полягає в експериментальному визначенні часових рядів необхідних параметрів i -ої властивості, виявленні максимуму з них, або тих із них, які мають унікальні значення (x_{i0}). Труднощі може викликати визначення коефіцієнтів k_i , кожен з яких відображає залежність між величиною впливу (w) певного виду і кількісним значенням, характерним для цього процесу, наприклад, кількістю тепла, тиску, струму в залежності від призначення процесу зміни станів системи.

З огляду на те, що в рівнянні Пфаффа справедливим є відношення $\frac{\varphi[x_i(\tau)]}{\varphi[x_i(0)]} = 1$, можна стверджувати, що коефіцієнти k_i в рівнянні (5, 5), яке є непрямым відображенням рівняння Пфаффа, розташовані поблизу точки з координатами x_{i0} , можуть приймати значення, рівні одиниці.

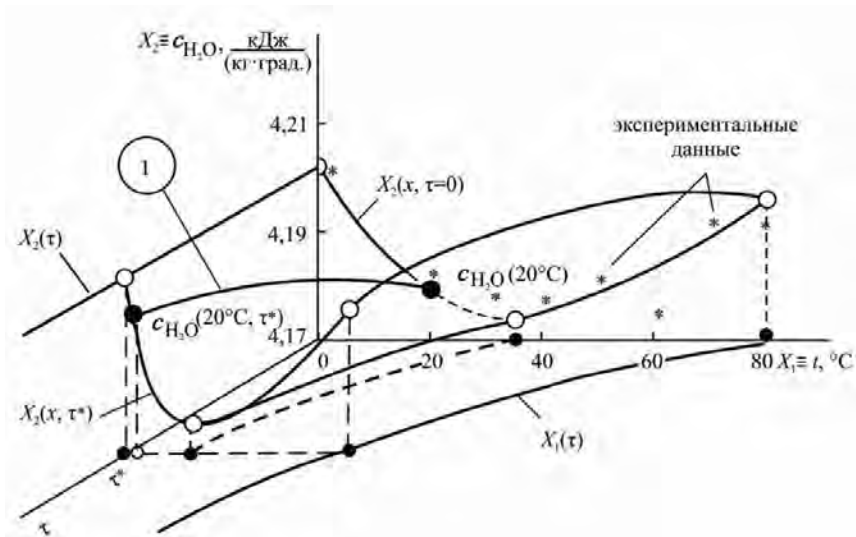


Рисунок 5.2 — Емпірична залежність виду $c_{H_2O}(T, \tau = 0)$ в координатах тривимірного простору.

Експериментальні дані, що дозволяють розрахувати необхідну емпіричну залежність для системи (див. рис. 5.2), представлені в таблиці 5.3. Результатом дослідження є феноменологічна модель загального вигляду $c_{H_2O} = 10^{-5} t^2 - 0,0012 t + 4,2046$ з досить високим коефіцієнтом кореляції $R^2 = 0,8849$. Таке емпіричне рівняння дає право застосовувати правило феноменології в системі.

Наприклад, Г. Аверін розглядає дуже зручну аналітичну залежність для визначення зміни ентропії

$$\Delta s = s - s_0 = \sum_{i=1}^n [k_i \cdot \ln(\frac{x_i}{x_{i0}})], \quad (5.5)$$

де k_i — ..., x_i —, x_{i0} — максимум експериментальних значень відповідного параметра.

Тоді розрахункові значення зміни ентропії $\Delta s = -6,165$.

Такі розрахунки дозволяють не тільки виявити значення ентропії системи та її вектора, а й дають методологічне бачення таких процесів, які відображають суть цього явища в різних областях знання. Ми ставимо завдання застосувати ці методи до процесів утворення відходів.

Таблиця 5.3 — Експериментальні дані для визначення феноменологічної моделі функції $c_{H_2O}(T, \tau)$ при нагріванні 0,1 кг дистильованої води до 80 °С

Параметр	Найменування	Значення параметру							
		0,0	$\tau^* = 3$	5	6	8	10	12	16
Час	τ , хв.	0,0	$\tau^* = 3$	5	6	8	10	12	16
Температура	t , °С	0,1	20	30	40	50	60	70	80
Кількість тепла	Q , кДж	0,042	8,37	12,54	16,71	20,91	25,05	29,33	33,53
Рівняння регресії $c_{H_2O}(t)$		$c_{H_2O} = 10^{-5} t^2 - 0,0012 t + 4,2046; \quad R^2 = 0,8969$							
Емпірична питома теплоємність	$\frac{c_{H_2O}^e}{\text{кг-град}}$	4,205	4,185	4,181	4,177	4,175	4,181	4,191	4,191
Фактична питома теплоємність	$\frac{c_{H_2O}}{\text{кг-град}}$	4,217	4,183	4,174	4,170	4,175	4,183	4,188	4,195

Ще раз нагадаємо, що виробничі процеси базуються на двоєдних процесах отримання запрограмованих продуктів і незапланованих відходів. Вірніше, відходи все ж таки плануються. Тільки їх стан, структура і сутність ніяк не обумовлені в рамках цієї штучної системи. Причому односпрямованість цих процесів настільки очевидна, що не вимагає додаткових доказів.

Закономірності, що описують виробництво готової продукції і відходів в напрямку часу, (+ t), не можуть бути використані в зворотному напрямку (- t). Не існує штучних процесів, результатом яких було б виробництво сировини з готової продукції і відходів. Отримання сировини з відходів — нездійснена мрія людства саме через енергоентропійні закони розвитку. Те, що А. Ейнштейн і В. Рітц називають затримкою [15], насправді існує як строго виражений причинно-наслідковий зв'язок. Причиною отримання готової продукції є її практична цінність для людини. Це спонукає людину до створення якоїсь виробничої системи, що є суттєвою причиною інтеграції певної сукупності фізичних та інших ефектів і явищ, які, в свою чергу, використовуючи зовнішню енергію, змінюють структуру сировини і приводять частину її елементів до необхідного стану. Новий стан цих елементів і є готовим продуктом. Це наслідок односпрямованих дій у цьому ланцюжку причинно-наслідкових зв'язків.

Незворотна ентропія в таких системах відіграє дуже активну роль, як у дисипативних процесах, так і в репаративних процесах, спрямованих на системну організацію. Структуризація зміни ентропії, орієнтована на її відтік-постачан-

ня ззовні dS_e і ту її частину dS_i , що вироблена всередині системи в динаміці $\frac{dS}{dt} = \frac{dS_e}{dt} + \frac{dS_i}{dt}$, представляється ефективним інструментом управління потоками енергії та ентропії всередині будь-якої відкритої системи, в тому числі для управління відходами в джерелі їх виникнення, тобто у виробничих системах будь-якого призначення (рис. 5.3). Правда, в цьому визначенні є невелике уточнення, яке вимагає іншого погляду на енергетичні відносини в системі і в її надсистемі. Енергетично вони повинні бути непорівнянні: енергія, якою володіє надсистема-донор, повинна значно перевищувати енергію її підсистеми. Однак це не означає, як показано в [16], що ентропія надсистеми не буде змінюватись. У будь-якому випадку вона збільшується на величину зменшення зростання ентропії всередині даної системи.

Співвідношення $(-\alpha)$ відтоку зовнішньої ентропії dS_e і її створення dS_i всередині системи, в тому числі в часі, по суті відповідають за процеси самоорганізації речовини в системі. Рівняння

$$\alpha = \frac{dS_e}{dS_i} < \left(\frac{dS}{dS_i} - 1 \right) \quad (5.6)$$

показує частку енергії зовнішнього розсіювання, яка здатна організовано впливати на цю систему. Якщо її достатньо як за кількістю, так і за якістю, то це співвідношення знаходиться в зоні сильної нерівноважності і дає можливості для синергії. Якщо умова не виконується, це може означати, що зовнішнє джерело енергії не робить належного впливу на термодинамічні процеси всередині самої системи.

Термодинамічна рівноважність у макросистемах характеризується мінімумом вільної енергії Гельмгольца, $F = E - TS$ де E — внутрішня енергія системи, T — її абсолютна температура, а S — ентропія. Але рівноважність відноситься до дуже обмеженого числа систем. Нас завжди оточують нерівноважні системи, до яких підхід повинен бути іншим. Звернемося тут до Нобелівської лекції І. Пригожина (1977). Функціональний порядок в таких системах має зовсім іншу природу для того, щоб привести їх до рівноваги. При цьому будь-яка нерівноважність є підосною процесів самоорганізації, системного розвитку, синергії в системах. І. Пригожин говорив: рівноважні системи «сплять», нерівноважні системи розвиваються, змінюються. Порушення рівноваги є причиною порядку.

Області нерівноважності складних систем (див. рис. 5.3), які, як правило, відкриті і дозволяють обмінюватися речовиною, енергією та інформацією з зовнішніми системами, передбачають управління зміною ентропії dS за рахунок тієї найважливішої її частини $(-dS_e)$, яка виходить від зовнішньої системи і компенсує ентропію dS_i , вироблену всередині самої системи відтоком в зовнішню систему, забезпечуючи таким чином певний внутрішній порядок в самій первинній системі. Подібна нерівноважність є джерелом синергії в таких системах, що саме по собі забезпечує тут стійкі організаційні процедури.

Слід розуміти таким чином, що на початковому етапі в замкнутій системі, коли робота тільки починає виконуватися і ентропія системи дуже мала, така замкнута система певною мірою здатна до самоорганізації в тій її частині, яка відноситься до роботи, яку вона виконує. Потім, коли частина енергії витрачається на збільшення ентропії, система прагне до руйнування. І тільки поповнення зовнішньою енергією, коли замкнута система відкривається перед своєю зовнішньою системою, дає їй можливість обмінюватися ентропійними процесами, а значить, і здатність до структуризації і самоорганізації. Ця здатність будь-яких термодинамічних систем дуже показова для виробничих процесів, які пов'язані з виробництвом як корисних продуктів, так і в рівній мірі відходів.

У першому випадку умовами такого процесу є відкритість системи та її нерівноважний стан. У випадку з відходами термодинамічне порушення рівноваги не враховується, оскільки енергоентропіка сукупної виробничої системи не орієнтована на ту частину сировини, яка йде у відходи.

У кінцевому результаті, принаймні, для систем, які не мають обміну з зовнішніми системами, при будь-якому початковому стані з плином часу встановлюється однозначний рівноважний стан, який стає єдиним термодинамічно стійким станом. Тобто рівноважність такої системи співвідноситься з її стійкістю. У той же час для відкритих систем можна інтерпретувати негативну зміну ентропії таким чином, що для поточного значення ентропії (S) ми маємо $\Delta S = S - S_0 < 0$. І завжди $\Delta S \rightarrow 0$ для чітко визначеного стану системи X_S . У відкритих системах завжди є деякі зовнішні стрибки параметрів $x(\tau)$, які впливають на співвідношення ентропії, притягнутої ззовні і виробленої всередині системи, таке, що в кожен момент часу зберігається відхилення від попереднього стаціонарного стану $\Delta X = [X(\tau) - X_S] = \alpha(\tau) \cdot x(\tau)$. Тут $\alpha(\tau) = \frac{dS_e / d\tau}{dS_i / d\tau}$ — коефіцієнт впорядкування

або узгодження з параметрами ентропії зовнішньої системи. Власне $x(\tau)$ залежить тільки від величини ентропії, запозиченої ззовні, тобто $x(\tau) = f(dS_e / d\tau)$ і не залежить від dS_i .

Відкрита система пов'язана з численними взаємодіями з зовнішніми системами, і тому їх слід враховувати як статистично обґрунтовані впливи, наприклад, тільки ті, які є стійкими упродовж певного періоду часу або мають найбільш ймовірні значення в певний часовий проміжок. Це так звані флуктуації, які є одним із джерел нерівноважності у відкритих системах за рахунок зовнішніх факторів.

Поява термодинамічної нерівноважності у виробничій системі можлива лише в тому випадку, якщо енергія та інформація, що надходять ззовні, здатні модифікувати матеріальні потоки всередині такої системи, яка стає, як правило, сильно нерівноважною. Зокрема, до таких модифікацій відноситься цілеспрямований процес отримання матеріальної продукції із задалегідь заданими властивостями в рамках певної виробничої системи. Саме ця особливість робить такі вироби товаром з яскраво вираженою споживчою цінністю.

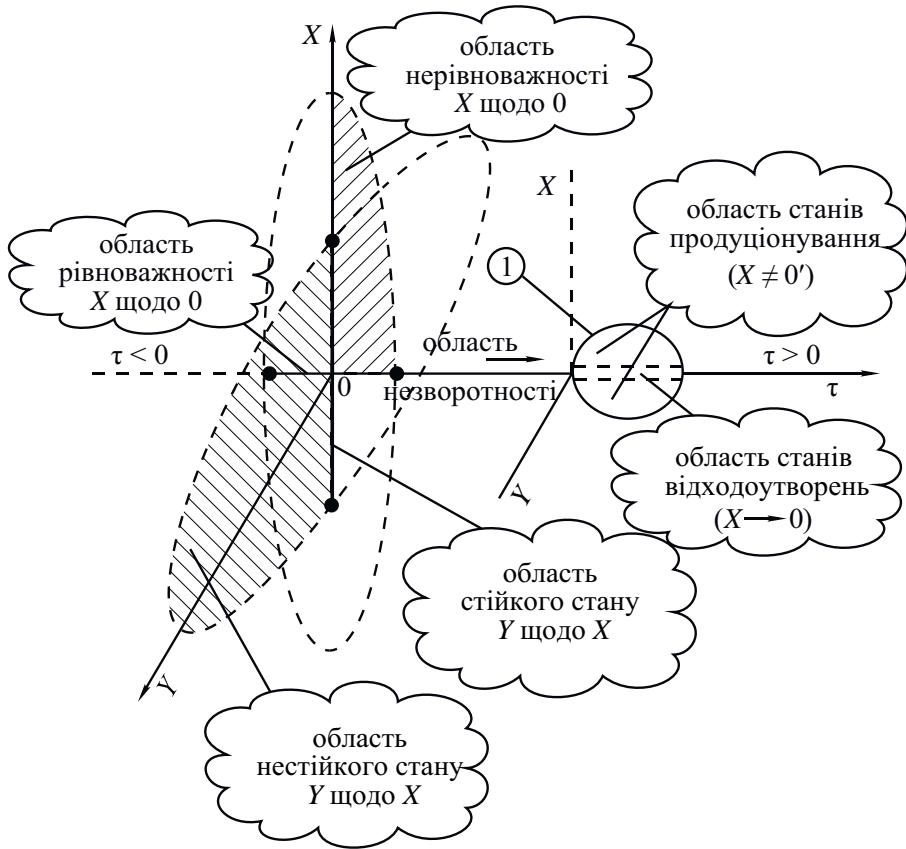


Рисунок 5.3 — Термодинамічні характеристики складних систем у координатній сітці операторів $F[X(\tau), Y(\tau)]$. Місце виробничих систем (1) у такій сітці

Теоретичний сенс стану $X(\tau)$ таких систем полягає в тому, щоб мати властивість мінімізації внутрішньої ентропії системи за рахунок раціонального перерозподілу зовнішньої енергії і забезпечення відтоку ентропії в зовнішню систему деяким оператором $\Phi: \Delta_e S[X(\tau)]$. Такими властивостями можуть володіти параметри процесів дифузії, масообміну, градієнтів температури і щільності, теплової дифузії, різниці тисків у гідравлічних і потенціалів — в електричних мережах і т.д., що діють у вигляді флуктуацій. Такі флуктуації здатні підтримувати термодинамічну нерівноважність у зазначеній виробничій системі.

Приклад.

Саме по собі завантаження коксу й агломерату в доменну піч у будь-яких необхідних пропорціях не дасть бажаного результату — виробництва товарного чавуну, поки в нижній частині печі, в горні не з'явиться зовнішнє джерело теплової енергії необхідної потужності — природний газ, що спалюється там. Якщо ми хочемо використовувати, наприклад, теоретично електричну енергію

в якості такого джерела, то таке обладнання і технології втратять своє первинне значення. Сама конструкція доменної печі не дозволить орієнтуватися на таке зовнішнє джерело енергії. Фізико-хімічні процеси всередині доменної печі не орієнтовані на такі джерела енергії. Для них у рамках технологічного процесу однозначно передбачено потужне джерело тепла — спалювання природного газу, що подається по периметру горна доменної печі.

Але у відомих технологіях позадоменного переплаву залізовмісних окатишів (збагаченої до 70–77% залізної руди) успішно використовується електрична енергія, що само по собі є показовим як альтернатива спалюванню природного газу [17, 18]. І незважаючи на те, що утворення шлаку в даному випадку також є незмінною складовою технологічного процесу, відходів у даному виді переробки набагато менше. Правда, відомо, що реальне виробництво окатишів, пов'язане послідовно з попереднім подрібненням, огрудкуванням, спіканням, транспортуванням залізовмісного матеріалу, і саме по собі є дуже відходним виробництвом. Тому для такого переплаву електричною дугою частина відходів залишається просто в зовнішній системі.

Але і цього недостатньо для доменного процесу. Завантаження агломерату і коксу в доменну піч в *довільних пропорціях* істотно обмежує протікання фізико-хімічних реакцій відновлення заліза з оксидів по всій висоті печі, і десульфурізацію, і дефосфорування чавуну, процесів утворення доменного шлаку. Тільки тоді, коли в конкретній доменній печі з певною її конфігурацією забезпечується необхідна пропорція між коксом і агломератом в заданій послідовності, забезпечуючи таким чином необхідну газопроникність суміші коксу і агломерату, як в центрі печі, так і на її периферії, можна сказати, що процеси отримання чавуну оптимальні, і такий технологічний агрегат готовий до випуску заданої товарної продукції — чавуну. Кожен параметр, що визначає стан первинної шихти по відношенню до необхідних кінцевих значень цього параметра у готовому продукті потрібної якості, знаходиться в стані динамічної нерівноважності.

Але при цьому шлак, відходи цього металургійного переділу, кількість і склад якого, його товарні властивості залишаються поза інтересами існуючої технології, залишаються поза увагою. При цьому термодинамічні параметри самого шлаку протягом усього часового інтервалу доменної плавки знаходяться в області слабкої нерівноважності або приходять до динамічної рівноваги, що жодним чином не визначається кінцевими умовами доменної плавки.

З точки зору нерівноважної термодинаміки така виробнича система відкрита, явно нестійка в залежності від величезної кількості мінливих технологічних параметрів, але найголовніше, вона має сильно нерівноважний характер в тій її частині, яка контролюється з метою отримання кінцевого продукту — чавуну. Саме за рахунок такої нерівноважності і перерозподілу внутрішньої ентропії зовнішніми енергетичними потоками вона стає керованою, цілеспрямованою для отримання конкретних корисних продуктів, а саме товарного чавуну. Тер-

модинамічна нестійкість системи є результатом її дестабілізації зовнішнім енергетичним полем з подальшими можливостями необхідного управління процесом.

Для отримання принципово нових необхідних якостей відходів, шлаків, існуючих у такій системі джерел енергії явно недостатньо. Якщо виконувати умову (5.6), це означає, що система повинна бути здатна отримувати, окрім чавуну, ще й якусь нову модифіковану речовину з іншими заданими властивостями. Повторимося, що при існуючій технології, при розумінні її незворотності, такі процеси нездійсненні (див. рис. 5.3). Якими повинні бути джерела енергії для виконання умови (5.6) — найважливіше завдання, яке ще ніхто не намагався вирішити для доменного виробництва. Але таке рішення з точки зору нерівноважної термодинаміки має право на існування. І її результатом повинні стати способи мінімізації відходів (у даному випадку шлаків) у джерелі утворення, тобто в принципово іншому доменному реакторі.

До цього вчених підштовхує, в тому числі, дефіцитність енергетичних ресурсів — коксу, природного газу. Відома двоступенева технологія «КОРЕКС», вперше впроваджена у Південній Африці в 1989 році. Вона передбачала поділ шахти і горну доменної печі і, відповідно, фази продуктів — рідкої і твердої в безкоксівому варіанті, що суттєво знизило вихід шлаку. Аналогічні методи реалізовані в *технологіях Corex, DIOS, AISI, CCF* та інших.

Радянська технологія «*РОМЕЛТ*» (1975), що використовує повністю рідкофазну технологію, хоч і була визнана, але досягла лише напівпромислового застосування. Технологія була орієнтована на рідкофазну шлакову робочу зону із наперед заданими властивостями шлаку в якості робочого інструменту для основної переробки. Одноступінчасті процеси використовуються також в технологіях *Hismelt, Ausirion, Techored* та інших. Ці процеси, тим не менш, не вирішили в повній мірі проблему отримання товарного шлаку.

Велика увага приділяється позадоменним методам отримання чавуну заданої якості, зокрема на системах прямого відновлення, за рахунок рідкофазних і газофазних відновників з використанням інших зовнішніх джерел енергії і т. д. При таких процесах температура відновлення заліза нижча, ніж в існуючих агрегатах, і продукт може мати певний губчастий стан, частково поглинаючи в себе компоненти шлаку. Відновлення заліза відбувається в щадному низькотемпературному режимі, з відносно невеликим переводом сировинних компонентів, таких як сірка, фосфор, миш'як, в окислений стан. Але при цьому стара хвороба проявляється знову — ніхто не звертає уваги на якість і товарність супутніх шлаків

У прикладній науці поки немає інших металургійних технологій, які б використовували нові джерела енергії, нові методи відновлення оксидів із компонентів залізної руди. Нерівноважна термодинаміка підказує такий фундаментальний напрямок. Тому слід розраховувати на появу нових джерел енергії, інших прин-

ципів відновлення не тільки заліза, але і супутніх компонентів вихідного заряду — фосфору, кремнію, сірки, миш'яку та ін. Вони, швидше за все, матимуть єдиний підхід до процесів відновлення таких компонентів.

5.3. Особливості енергоентропійної теорії у застосуванні до явищ утворення відходів

У цій частині роботи зроблено спробу описати процеси утворення відходів виробничих систем із позицій їх енергоентропіки.

З теорією енергоентропіки пов'язані особливості динаміки перетворень енергії в системі, її розподіл і перерозподіл, перетворення з одного виду в інший, концентрація і розсіювання в процесі виробництва [19, 20, 21, 22].

Звичайно, характер утворення відходів у виробничих системах тісно пов'язаний з енергетичними характеристиками цієї системи, зокрема типом і джерелом енергії, що використовується в системі, особливостями енергетичного впливу на сировину технологічного процесу, способами перетворення енергії, її щільністю, якістю технічного забезпечення тощо. Сам по собі енергетичний баланс виробничої системи є одним із найбільш суттєвих показників, що характеризують її стан та ефективність. Найважливішою частиною цієї характеристики є стаття про втрати енергії в системі. Неминучість цих втрат криється в самій природі такого явища, як енергія.

Строге визначення енергії з'явилося в 1853 році (Кельвін): *енергія матеріальної системи в певному стані являє собою суму всіх дій, які здійснюються поза системою при її переході будь-яким способом з цього стану у довільно обраний нульовий стан. За визначенням Ф. Енгельса, енергія — це міра різних форм руху матерії.*

В основі енергоентропіки як науки лежать властивості енергії, які визначають її якість, цінність, здатність перетворюватися в інші види, виконувати корисну роботу. До основних властивостей енергії відносять форму руху (ступінь впорядкованості), інтенсивність руху (потенціал) і щільність внутрішньої енергії [23, 24, 25]. Тому, переходячи до питань природи утворення відходів, пов'язаних з енергетичними перетвореннями матеріальної частини будь-якої виробничої системи (тобто виробничого процесу), ми повинні розглядати цю систему через призму основних законів енергоентропіки, як складну термодинамічну систему, і розглядати саму енергію з урахуванням цих властивостей. Будь-яке виробництво тут можна розглядати як нерівноважну, неізолювану систему по відношенню до зовнішніх джерел енергії, яка однаково характеризується як процесами розсіювання енергії і речовин, так і процесами негентропії, пов'язаними з концентрацією енергії і речовин, виробленням і впорядкуванням їх структури в процесі виробничої діяльності [26].

Згідно з першим законом енергоентропіки, при розвитку системи споживана енергія (ΔE) витрачається на виконання зовнішньої роботи (A), зміну внутрішньої енергії системи (ΔU) і розсіювання енергії в зовнішнє середовище ($Q_{o.c.}$) таким чином, що

$$\Delta E - (A + \Delta U + Q_{o.c.}) = 0. \quad (5.7)$$

По суті, це закон збереження енергії в реальній системі. Четверта складова рівняння балансу ($Q_{o.c.}$) тут є не просто рівною, а обов'язковою частиною розподілу енергії в системі і поза її межами. Перший закон енергоентропії декларує лише фактичні втрати енергії, пов'язані з деяким перетворенням речовини у виробничій системі, але не доводить достатність і необхідність цих втрат. Виходячи з основ класичної термодинаміки, можна стверджувати, що механізми втрат енергії в системі неявно присутні і в інших компонентах рівняння балансу. Зокрема, вони проявляються через зміну внутрішньої енергії системи (ΔU), залежать від якості виконуваної зовнішньої роботи (A), особливостей самого джерела енергії і т. д.

Важливою й обов'язковою властивістю енергії в системі, пов'язаною з характером утворення відходів, є те, що всі її види, так чи інакше, в результаті будь-яких перетворень прагнуть перейти до неякісної енергії, найчастіше теплової, яка, поширюючись у бік більш холодних матеріальних субстанцій, розсіюється в навколишньому середовищі, збільшуючи ентропію системи в цілому [27]. Зміна енергії ізольованої системи $\Delta E = E_1 - E_2$ визначає максимальну роботу A^{\max} , яку теоретично виконує система при переході зі стану 1 у стан 2. Відомо, що зміна ентропії такої системи $\Delta S = S_1 - S_2$ свідчить про ту частину енергії $E_0 = T_0 \Delta S$, яка, при температурі T_0 , втрачається системою у вигляді розсіяного тепла, зменшуючи виконувану системою роботу на величину незворотних втрат $T \Delta S_n$ до величини

$$A^P = A^{\max} - E_0 = -\Delta U + T_0 \Delta S_n < A^{\max}. \quad (5.8)$$

Для опису якісної сторони процесу розсіювання енергії в ході будь-якого виробничого процесу скористаємося другим законом енергоентропіки, який визначає умову неминучості збільшення ентропії ізольованої системи. Як відомо, будь-яка реальна ізольована макроскопічна система прагне до стабільності з більш впорядкованого стану в менш впорядкований, це процес, який супроводжується неминучим збільшенням ентропії $S = k \cdot \ln A$ системи, тобто

$$\Delta S = S_1 - S_2 \geq 0. \quad (5.9)$$

Для будь-якої теплової системи теплообмін супроводжується деградацією енергії, тобто зниженням її якості і зменшенням корисної її складової. Ця втрата у елементарної функції теплообміну становить

$$dE = T \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) dQ, \quad (5.10)$$

де dQ — елементарна теплота, що підлягає обміну в теплообміннику.

Для неізольованої системи (приплив зовнішньої енергії $\Delta \bar{Q} \neq 0$) відбувається збільшення ентропії відповідно до цього зовнішнього припливу при даній температурі (T). Тут

$$\Delta S \geq \Delta \bar{Q} / T. \quad (5.11)$$

Ступінь незворотності процесу залежить від швидкості збільшення ентропії, а остання, в свою чергу, залежить від інтегрального потоку енергії різних типів (q_i), а точніше, від якості енергетичних складових, і динамічної складової процесу (ΔZ_i). Таким чином,

$$\frac{\Delta S}{\tau} \geq \frac{1}{T} \sum_{i=1}^I q_i(\tau) \Delta Z_i(\tau), \quad (5.12)$$

де τ — тривалість процесу.

Тут доречно підкреслити, що фізичний зміст ентропії пов'язаний з поняттям мінімальної питомої енергії, необхідної для забезпечення повернення системи в цей початковий стан після оборотного процесу, завершеного при температурі, що відповідає початковому стану цієї системи. Ентропія тут представлена питомою енергією особливого роду, оскільки вона відноситься до абсолютної

температури системи $dS = \frac{dE}{T}$.

Для концептуального узагальнення застосовуваних характеристик ентропії системи баажно використовувати терміни, запропоновані Г. Гіббсом, який розглядав активні і пасивні змінні як «змінні потенціалу» і «змінні стану». Під першими Гіббс розумів різницю рівнів, зміни сил, перепад тиску або температури тіла тощо, а під другим — обсяг, масу, переміщення тощо.

З узагальненого фізичного змісту поняття ентропії випливає, що чим вища змінна потенціалу системи, тим нижча специфічна питома енергія повернення, яка характеризує продуктивність системи. Стає очевидним, чому якість переданої енергії, згідно з другим законом термодинаміки, є тим вищою, чим більша температура системи при цій передачі. При передачі енергії в систему $dE = dE_0 + dA$ при температурі T ентропія системи збільшується таким чином, щоб забезпечити повернення системи в початковий стан за рахунок збільшення енергії $E_0 + dE_0$.

Це збільшення енергії тим менше, чим вища початкова абсолютна температура T системи, так що $dE - dE_0$ при цьому збільшується.

$$\lim_{T \rightarrow \infty} dE_0 = 0. \quad (5.13)$$

У формулі (5.12) під інтегральними потоками слід розуміти не тільки дійсні енергетичні потоки різних видів енергії, але і потоки речовин, що беруть участь у процесі. Звідси випливає важливий висновок про те, що особливості розподілу матеріальних потоків у процесі виробництва повинні співвідноситися з такими ж для енергетичних потоків у даній системі. Дійсно, мова може йти про процес розсіювання неперероблених відходів, а також відходів вторинного (післяексплуатаційного) відчуження, тобто речовин, які без залучення якісної енергії не можуть повернутися в передвиробничий концентрований стан. Досить згадати світовий досвід виробництва, використання та утилізації чорних і кольорових металів, нафтопродуктів і втрати, пов'язані з цими явищами. Більше 50% видобутого в світі чорного металу, майже 93% нафти і газу і майже 100% вугілля після експлуатаційного періоду безповоротно втрачаються у вигляді вже не концентрованих відходів.

Звичайно, в реальних виробничих системах інтегральні матеріальні потоки $q(\tau)$ залежать від фактора часу. Причому ця залежність носить нестаціонарний, а іноді випадковий характер, вона обумовлена умовами організації процесу і може описуватися безліччю залежностей.

Під динамічною складовою процесу, або, за Г. Гіббсом, «змінною стану» (див. формулу (5.12)) розуміють різницю потенціалів, станів, концентрацій речовини, її просторово-часовий розподіл тощо. Динамічна складова процесу ΔZ_i характеризує, зокрема, ті властивості потоків q_i — енергетичних та матеріальних у виробничій системі, які змушують ділити ці потоки на корисні, що підлягають цілеспрямованій технологічній обробці і представляють потім певну користь, що забезпечує їх потрібними властивостями, а також непотрібні частини цих потоків, перероблені в «непридатних» технологічних умовах, що не мають заздалегідь заданих властивостей і значень і тому складають базу відходів. Таким чином, створюється враження, що в виробничих системах поняття вартості продукції, що випускається, пов'язане, перш за все, з якістю енергії у всіх її проявах, в тому числі і матеріальних.

Тут доречно буде процитувати міркування професора Г. А. Михайловського про важливу, але не завжди враховану інтерпретацію другого закону термодинаміки. Вона полягає в тому, що, як закон природи, другий закон об'єктивно охоплює не тільки дисипативні, але і зворотні репаративні процеси концентрації енергії і речовини, виникнення і розвиток складних відкритих систем у живій і неживій природі, які здійснюються шляхом запозичення енергії у надсистемі. Підкреслюється дисипативно-репаративне сполучення енергетичних перетво-

рень, що приводить до конструктивного результату, спрямованого на зниження ентропії системи таким чином, що

$$dS_U = dS_f^\pm + dS_i^\pm + dS_p^\pm \geq 0, \quad (5.14)$$

де індекси «*f*», «*i*», «*p*» позначають складові ентропії відкритої системи, а саме визначають форму, інтенсивність і щільність енергії, а знак (\pm) позначає вектор зміни енергії дисипативного і репаративного напрямків відповідно.

Такі сполучені перетворення енергії і, сміємо бути впевнені, речовин, що беруть участь у виробничому процесі, вимагають більш складних взаємодій між енергетичними і матеріальними потоками в системі. Ці взаємодії у виробничій системі можуть носити характер запозичення енергії вищої якості, її перерозподілу, резервування, використання її для отримання більш якісних продуктів, як корисних, так і непотрібних (тобто відходів) [27]. При цьому важлива роль відводиться характерним особливостям надсистеми, зокрема, енергомасообміну з основною системою.

Таке розуміння формули другого закону термодинаміки дозволяє зробити висновки, які раніше не використовувалися для опису механізмів утворення відходів у виробничих системах. А саме. Якщо говорити про те, що другий закон тільки в замкнутій системі відображає зниження якості енергії в потоках, і ці потоки також описують матеріальні компоненти системи, то слід вважати, що в результаті технологічного процесу, здійснюваного в нерівноважній неізольованій системі, відбувається наступна, вже знайома нам, узагальнююча реструктуризація ентропії. А саме: загальна її кількість, згідно з другим законом, збільшується. Однак відбувається перерозподіл ентропії між складовими компонентами виробничої системи, а саме: між споживаною енергією на перетворення «корисної» і «непотрібної» частин матеріального потоку сировинної бази (рис. 5.4). Перерозподіл ентропії між компонентами матеріальної бази виробничої системи відбувається таким чином, що *закладена нами в готовий продукт негентропія збільшується за рахунок зростання ентропії решти матеріальної частини системи, і в першу чергу тієї, якій приписуються властивості відходів*. Це ще раз підтверджує термодинамічну двоєдність будь-якої виробничої системи.

Таким чином, основною властивістю відходів різного типу є не тільки їх низька споживча привабливість, але і те, що, потрапляючи в навколишнє середовище, вони є продуктами-носіями збільшення ентропійних процесів у цьому середовищі. У той же час будь-яка виробнича система є яскравою ілюстрацією сполучених дисипативно-репаративних процесів перетворення енергії і речовини [28]. Ми глибоко переконані, що саме вони є основою механізмів утворення відходів. Співвідношення тієї частини енергії, яка витрачається системою на виконання корисної роботи, тобто на виробництво корисних продуктів, і тієї її частини, яка йде на виробництво відходів, разом з енергією, яку отримує відкрита

виробнича система ззовні, є показником сполучення процесів перетворення в системі і позначається як

$$\frac{\Delta S^+}{\Delta S^-} = \lim_{\substack{T \rightarrow T_{\min} \\ \Delta E^{\pm} \rightarrow \Delta E^-}} \left(\frac{1}{T} \frac{\Delta E_u^+}{\Delta E_u^{\pm}/T_{\min} + \Delta E_{o.c.}^{\pm}/T_{\min}} \right) = 0. \quad (5.15)$$

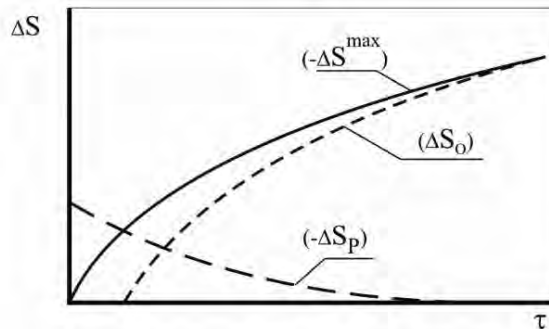
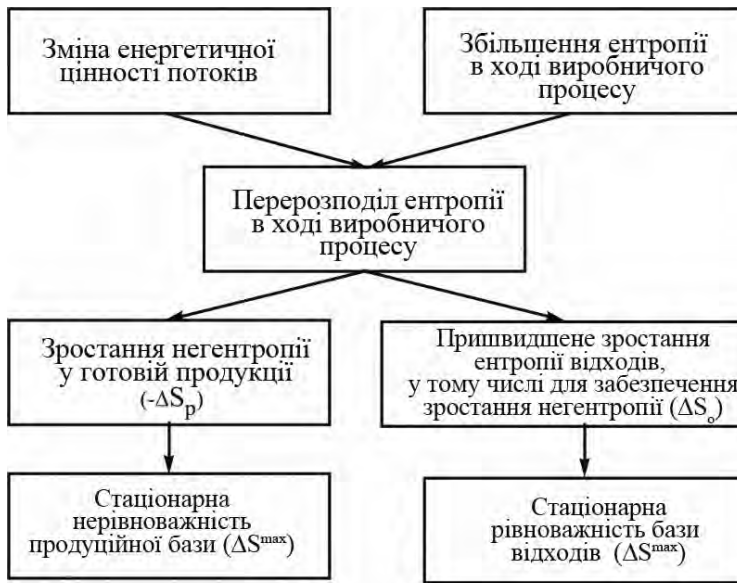


Рисунок 5.4 — Умови перерозподілу ентропії і негентропії в процесі виробництва корисних продуктів та її графічна інтерпретація

В результаті такого запозичення якісної енергії, витраченої на виробництво корисних продуктів, зростає частка ентропії, що осідає в переробленій, але «непотрібній» матеріальній частині виробництва — відходах.

Тут знак «±» вказує на напрямки дисипативно-репаративного сполучення енергетичних потоків, відповідальних за перетворення матеріальних потоків

у корисні продукти та у відходи. Під $\Delta E_{o.c.}^{\pm}$ розуміється енергія, отримана ззовні і споживана сполученими дисипативно-репаративними енергетичними потоками.

Такий показник, з урахуванням розсіювання енергії, може служити попереднім критерієм мінімального утворення відходів, який спочатку закладається в будь-яку виробничу систему. Всі інші втрати і відходи тоді можна вважати керованими, можливо, надлишковими для даної системи і такими, що підлягають мінімізації.

Формула (5.15) підкреслює узагальнюючий зв'язок термодинамічних явищ, що виражається в тому, що будь-яка спонтанна, тобто дисипативна («+»), зміна енергії сприяє розвитку вимушеного процесу репарації частини енергії («-»).

З цими міркуваннями легко узгоджується третій закон енергоентропії, якщо його застосувати до відкритих виробничих систем, які призначені для організації та впорядкування енергії або речовини і пов'язані обмінними відносинами із зовнішніми системами. Згідно з цим законом, при перерозподілі ентропії відкритої виробничої системи, що розвивається, ми маємо право говорити про зменшення її невід'ємної складової на розмір

$$\delta S < \Delta S < \Delta S^0 - \Delta E/T\delta, \quad (5.16)$$

який пов'язаний зі споживанням енергії від зовнішнього джерела. Тут ΔS^0 — це загальний приріст ентропії системи без урахування вектора її прогресивності як системи, що виробляє корисні продукти.

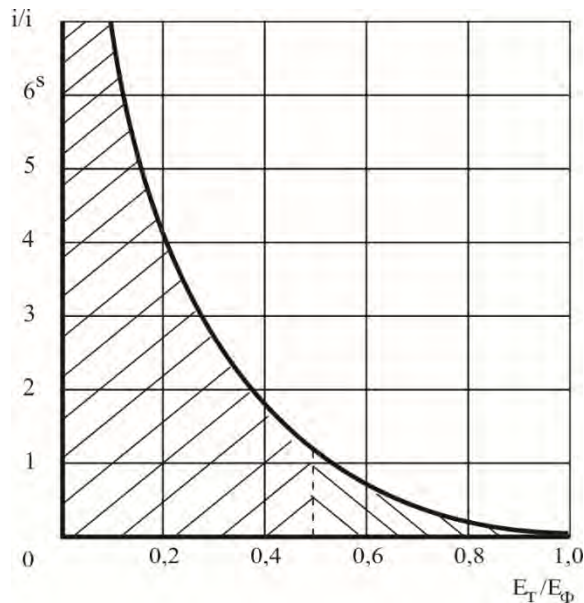
Якщо об'єктом аналізу енергетичної ентропії є нерівноважна неізольована система, в якій протікають як дисипативні, так і впорядковані, репаративні процеси перетворення енергії і речовини, то другий закон для інтегральної ентропії можна записати у вигляді

$$\Delta S_i = \sum_i \Delta S_i^{\pm} \geq 0, \quad (5.17)$$

де ΔS_i^{\pm} відноситься до тієї з i -х властивостей, які в даній системі змінюються в дисипативному ($\Delta S_i^{\pm} > 0$) або репаративному ($\Delta S_i^{\pm} < 0$) напрямках.

Безумовно метою будь-якого виробничого процесу є якісна зміна його матеріальної та енергетичної складової через свідоме перетворення компонентів сировинної бази. Причому, чим нижча якість використовуваної енергії в співвідношенні теоретичних (E_T) і фактичних (E_{Φ}) її витрат, тим вища відносна інтенсивність утворення відходів (рис. 5.5).

Якісне поліпшення енергії в цій частині має бути пов'язане в першу чергу з її впорядкуванням у структурі вироблених корисних продуктів за рахунок цілеспрямованої технології перетворення сировини. Продукцію, що випускається, можна розглядати як стаціонарну нерівноважну підсистему, в структуру якої закладена якісна енергія даної виробничої системи.



E_T і $E_Ф$ — теоретично необхідний і фактичний рівень енергоспоживання;
 i та i_s — інтенсивність утворення та виробництва відходів

Рисунок 5.5 — Вплив структури енергоспоживання на відносну інтенсивність утворення відходів

На перший погляд, такі висновки слід застосувати і до перетворення іншої частини сировини, яка потім перетворюється у відходи. Однак це не так. Порядок переробки сировини, особливості фізичних, хімічних, механічних та інших процесів, що лежать в основі тієї чи іншої технології, найчастіше не сприяють використанню енергії певного типу, запозиченої ззовні, для впорядкування елементів тієї частини сировинної бази, яка стає відходами. Якість енергії, використовуваної в процесі виробництва для перетворення цієї частини сировини, практично ніколи не відповідає її структурі та якості і мало впливає на якість утворення відходів. Таким чином, у цю матеріальну частину системи закладається максимально можлива ентропія всього виробничого процесу (пов'язана з втратами як теплової енергії, так і неструктурованої речовини). Тому відмінною рисою системи відходів може бути її стаціонарна рівноважність із максимальною ентропією (див. рис. 5.4).

У розвитку цих положень четвертий і п'ятий закони енергоентропіки відображають ту частку потенційних можливостей для репаративних процесів, які притаманні конкретній виробничій системі. В тому числі, ці можливості слід віднести до обмеження механізмів утворення відходів.

Згідно з четвертим законом, межа прогресивного розвитку матеріальної системи пов'язана з досягненням максимальної негентропії ($-\Delta S^{\max}$)

відповідного роду. П'ятий закон енергоентропіки підтверджує переважний розвиток тих систем, які при даних зовнішніх і внутрішніх умовах є найбільш репаративними, тобто досягають максимальної негентропії в матеріальних і енергетичних потоках.

Раніше в наших міркуваннях ми могли бачити, що зростання негентропії виробничої системи повинно бути пов'язане з процесами перерозподілу ентропії між мінливими матеріальними компонентами системи, а також процесом загального зростання ентропії тієї ж системи, що відбувається в процесі виробничої діяльності. Причинами зростання негентропії у виробничій системі можуть бути: вдосконалення існуючих і розробка нових технологій і способів обробки сировини, нових для цього технічних засобів, інших принципів перетворення енергії в системі і т. д. Цей процес має природні обмеження, властиві кожній матеріальній системі, другим законом, а також у залежності від якості використовуваної в системі енергії (див. рис. 5.4).

Ще одним критерієм розвитку виробничої системи з точки зору мінімізації утворення відходів може стати наступне значення негентропії:

$$\mu^{\min} = 1 - \eta_S^{\max} = 1 - \frac{(-\Delta S^{\max})}{\Delta E_{\text{затр.}}} \quad (5.18)$$

Показник (μ^{\min}) завжди корелює з максимальним негентропним коефіцієнтом (η_S^{\max}) використання енергії системи на даному етапі її розвитку. Відзначимо, що, як і показник (5.15), він описує потоки енергії і не відображає особливості трансформації матеріальних потоків системи.

Для матеріальної частини виробничої системи це співвідношення може поширюватися на такі показники, наприклад, як ефективність використання компонентів сировинної бази (C_i) для виробництва номенклатури готової продукції (P_j):

$$\mu^{\min} = 1 - \frac{\left(-\sum_j P_j \right)}{\sum_i C_i} \quad (5.19)$$

Таким чином, облік стану енергоентропіки при дослідженні природи утворення відходів дозволяє зробити наступні висновки:

1. Механізм утворення відходів при виробництві будь-якої продукції багато в чому залежить від енергетичної цінності всіх матеріальних потоків, що беруть участь у виробничому процесі. Об'єктивний вплив якості використовуваної енергії на процеси утворення відходів у реальних виробничих системах значною мірою деформується ще і впливом суб'єктивних соціальних соціально-економічних відносин.

2. Важливим фактором, що характеризує природу утворення відходів, є узагальнююча перебудова і перерозподіл зростання ентропії між матеріальними компонентами виробничої системи, і в першу чергу — між стаціонарною нерівноважною виробничою системою і стаціонарною рівноважною системою відходів. Перша з них пов'язана з ростом негентропії, здійснюваної за рахунок зростання ентропії решти компонентів матеріальної частини, і насамперед тих, яким приписуються властивості відходів.

3. В результаті узагальнюючої реструктуризації і перерозподілу ентропії в системі виробництва розсіюється енергія найбільш бідного її типу. Вона є необхідною і достатньою частиною структури відходів будь-якого виробничого процесу.

5.4. Деякі закономірності впливу енергетики виробничого процесу на утворення відходів

Ще Гельмгольц показав, що для виконання корисної роботи може бути використана лише частина повної енергії системи. Це так звана вільна енергія. Інша частина повної енергії (пов'язана енергія системи), що дорівнює добутку температури навколишнього середовища на повну зміну ентропії системи, переходить у тепло і втрачається системою у вигляді розсіяної енергії. $E_0 = T_0 \Delta S$. Ще частина втрат $E_n = E_0 \Delta S_n$ відноситься до незворотності енергетичних процесів. Тому фактична робота в реальних системах визначається як $A_p = \Delta E - T_0 (\Delta S_0 + \Delta S_n)$. У роботах Р. Клаузіуса, Я. Гая і А. Стодоли з термодинаміки реальних систем з'являється поняття «ексергії», що характеризує технічну працездатність реальної системи, тобто та частина повної енергії, яка перетворюється в корисну роботу і пов'язана з перетворенням певної частини сировини у виробничій системі, а також поняття «анергія» як частина повної енергії системи, яка за жодних обставин не перетворюється в корисну роботу.

Розглянемо докладніше властивості ексергії, ентропії та енергії, оскільки саме з ними, на наш погляд, багато в чому пов'язаний механізм опису природи і властивостей утворення відходів.

Згідно з першим законом термодинаміки, сума ексергії « \mathcal{E} » і анергії « Λ » в реальній системі залишається незмінною, тобто

$$\Delta E = \mathcal{E} + \Lambda = \text{const} \quad (5.20)$$

За законом Гюї-Стодоли, втрата ексергії через незворотність процесів залежить від температури навколишнього середовища і суми приростів ентропії, тобто не є функцією стану системи. Звідси робиться висновок, що ексергія системи менша, ніж її вільна енергія ($\mathcal{E} < F$) і в міру виконання корисної роботи завжди зменшується, а загальна анергія завжди більша, ніж пов'язана енергія

системи ($\Lambda > TS$) і завжди збільшується на величину ексергії, що зменшується. Повна енергія системи (5.20) приймає вираз:

$$E = A + Q_{o.c.} + TS = \mathfrak{E} + \Delta Q + Q_{o.c.} + TS = \mathfrak{E} + \Lambda + Q_{o.c.} \quad (5.21)$$

Отримана різниця між ексергією виробничої системи та її вільною енергією $\mathfrak{Y} - F = -\Delta Q$ — це невикористана вільна енергія цієї системи, яка з якихось причин не перетворена в корисну роботу. Слід підкреслити, що дана особливість не є необхідною умовою існування системи. Різниця між енергією та ентропією системи $Q_x = \Lambda - (-T dS)$ в даному випадку представляється ресурсом зниження її енергетичних втрат, які можна віднести до утворення відходів.

У зв'язку з цим ще раз підтвердимо правомірність твердження про те, що саме ентропія системи характеризує мінімальні втрати енергії, які можна назвати обов'язковим утворенням відходів для будь-якої енергозалежної системи виробництва. Яким чином цей мінімум повинен розподілятися між втратами у вигляді теплової енергії і втратами матеріальної частини системи, поки неясно.

Таким чином, природа утворення відходів при переробці будь-яких матеріалів безпосередньо пов'язана з поняттям ентропії як міри якості розсіяваної енергії.

Надалі будемо використовувати аргументи та міркування Г. М. Алексєєва, І. С. Борисова, П. Шамбадала в роботах [23, 25, 29].

Важливим з точки зору природи утворення відходів є той факт, що якщо передача енергії не вимагає обов'язкової присутності деяких матеріалів для цього, то робота з перетворення речовини здійснюється тільки при наявності такого матеріалу, який в термодинаміці називається «робочим тілом». Роль робочого тіла в виробничих системах часто виконують компоненти сировинної бази. Звичайно, енергетичний вплив на робоче тіло пов'язаний зі зміною його властивостей, наприклад, агрегатний або хімічний стан, додаткові енергетичні витрати на ці зміни. Це сприяє збільшенню диференціала $Q^P = \Delta\Lambda - (TdS)$, який характеризує зменшуючі втрати енергії в системі. Тому, коли ми говоримо, що ентропія системи характеризує той мінімум втрат енергії, який можна назвати обов'язковим утворенням відходів для будь-якої виробничої системи, тут слід розуміти не тільки енергетичні, але і матеріальні втрати системи, пов'язані з енергетичним впливом на матеріали, задіяні у виробничому процесі. До них відносяться, перш за все, сировинна база, технічне та інфраструктурне забезпечення.

Якщо за законом збереження зміна енергії визначається тільки різницею її значень у початковому і кінцевому станах переходу, то ентропія, що виражає міру невикористаної енергії, залежить від характеру процесу, що відбувається. Ця важлива закономірність має місце в тій мірі, в якій кількість енергії певного виду ($Q_{o.c.}$) залежить від її природи. Таким чином, впливає про-

стий висновок, що міра розсіювання енергії в виробничій системі залежить від якості енергії, що бере участь у перетворенні матерії. Іншими словами, функціонування системи залежить від якості використовуваної енергії і способу її перетворення.

Знову ж таки, мірою якості енергії може бути, зокрема, її щільність на одиницю об'єму або маси. Чим вища концентрація енергії, тим вищі її показники. У той же час ми звертаємося до класичної термодинаміки. Компенсація зростання негентропії, за рахунок переходу внутрішньої енергії в роботу, наприклад, теплового розширення, здійснюється за рахунок збільшення ентропії розсіяної енергії меншої щільності, тобто менш якісної енергії.

Якість енергії залежить, насамперед, від того, скільки додаткової енергії витрачається для того, щоб виробляти цей вид енергії [16, 30]. Наприклад, для отримання 1 Дж електричної енергії необхідно витратити 4 Дж енергії з горючого вугілля. При цьому втрачається 3 Дж у вигляді розсіяного тепла. Людство прагне працювати з кращою енергією, хоча і не дуже успішно. У світі марно втрачається кожні 8 з 10 Дж енергії всіх видів. З 25 млрд т щорічної мінеральної сировини в корисний продукт перетворюється тільки 1 млрд т сировини. Переважна більшість видів енергії, доступних для використання людиною, тим чи іншим чином перетворюється нею в певні види теплової енергії, тобто найменш якісні види енергії.

Л. Бріллюен [31] поділяє види енергії за якістю, в залежності від їх здатності до взаємного перетворення, наступним чином:

- механічна та електрична, як найбільш цінні види;
- хімічна;
- тепла, як похідна всіх видів втраченої енергії.

У міру збільшення ентропії якість енергії знижується, вона поступово переходить від найвищого рівня до нижчого.

Залежно від продуктивності, енергію в технічній системі зручно розглядати в такій послідовності (за ступенем підвищення якості):

- механічна енергія рухомих тіл і окремих частинок, а також її різновиди (пружна, віброакустична, звукова та ін.);
- хімічна енергія, що виділяється в результаті перебудови електронних оболонок атомів і молекул речовин, що беруть участь у реакції;
- електрична енергія — енергія заряджених (електростатичних) або рухомих (електродинамічних) електронів та іонів, енергія електричного струму;
- електромагнітна енергія руху фотонів електромагнітного поля;
- ядерна, анігільційна, гравітаційна, нейтрино, мезонна та інші види енергії елементарних частинок і полів.

У цій класифікації критерієм якості енергії слід вважати здатність енергії більш високої якості перетворюватися в енергію низької якості з мінімальними термодинамічними втратами. Це твердження не є абсолютно безперечним [32],

але, як перше наближення, воно повністю задовольняє нас у рамках вивчення природи утворення відходів у реальних виробничих системах, оскільки не суперечить законам енергоентропії в макросистемах.

Строго кажучи, при вивченні природи утворення відходів у виробничих системах нас повинна більше цікавити класифікація способів енергетичної взаємодії, які можуть мати місце при переробці сировини. Розташуємо їх у тій же послідовності, що і види енергії. Ось як описує ці взаємодії Г. М. Алексєєв.

Механічна взаємодія — це безпосередній вплив одних тіл на інші шляхом їх контакту з використанням або передачею механічної енергії.

Теплова взаємодія здійснюється як усереднена статистична взаємодія між хаотично рухомими частинками систем із різною температурою.

Хімічна взаємодія відбувається за рахунок обміну електронами між атомами і молекулами в залежності від типу хімічного зв'язку.

Електростатичною дією називають взаємодію між електрично зарядженими тілами за допомогою електричного поля.

Електродинамічна взаємодія здійснюється між рухомим електрично зарядженим тілом і тілом — джерелом електричного поля.

Електромагнітна взаємодія здійснюється між частинками полів і системами, які обмінюються такими частинками.

У даній роботі ми не будемо розглядати інші види взаємодій, наприклад, анігіляційну, ядерну, гравітаційну, як незначні при дослідженні процесів утворення відходів у практичних виробничих системах.

Звернемо увагу на властивості і параметри речовин, згідно з якими вони взаємодіють з іншими речовинами за допомогою різних видів енергії. Далеко не повний їх перелік представлений у таблиці 5.4.

За такими показниками завжди можна оцінити, як здійснюється взаємодія різних компонентів сировинної бази конкретного технологічного процесу з конкретними джерелами енергії, прийнятими в даній технології. Якщо компоненти мають сумірні значення, в межах кратності, наприклад, теплоти плавлення, то таке одне джерело (теплова енергія) може привести їх у відповідний реагентний стан, дозволяючи змінювати свої параметри до тих, які потрібні даній технології. І навпаки, якщо два компоненти сировини мають істотно різні показники по відношенню до того чи іншого виду енергії, наприклад, один з них — провідник, а інший — ізолятор, з різним електричним опором, то буде неможливо модифікувати їх у рамках даного технологічного процесу за допомогою електричної енергії, з наміром зробити товарними, значущими продуктами, але не зайвими відходами. В останньому випадку необхідно шукати інші джерела енергії, що дозволяють впливати на всі компоненти використуваної сировинної бази.

Таблиця 5.4 — Деякі унікальні показники речовин, що забезпечують їх розпізнавання для конкретних видів енергії

№	Вид енергії	Параметри речовини, константи, що реагують на цей вид енергії	Кратний діапазон, к. п. о.*
1	Механічна	Питома вага; коефіцієнт тертя; швидкість звуку в речовині; модуль пружності; коефіцієнт лінійного розширення; коефіцієнт поперечної деформації; поздовжній коефіцієнт вигину	$1 \cdot 10^{-2} \div 1 \cdot 10^4$
2	Теплова	Теплотворна спроможність; межі запалювання; теплота згоряння; щільність речовини; питома теплоємність; питома теплопровідність; ентальпія; температура плавлення і випаровування; прихована теплота плавлення і пароутворення; коефіцієнти лінійного і об'ємного розширення	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^4$
3	Хімічна	Щільність речовини; молекулярна маса; окислювально-відновний потенціал; водневий індекс; ентальпія; прихована теплота плавлення і пароутворення; розчинність і теплота розчинення; валентність	$1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^9$
4	Електро-статична	Електростатичний заряд; діелектрична проникність; електричний опір; електрична постійна	$1 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^9$
5	Магнітна	Магнітна постійна; магнітна сприйнятливність; магнітна індуктивність; точка Кюрі	$1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^9$
6	Електрична	Питомий електричний опір; електропровідність; діелектрична проникність; температурний коефіцієнт опору	$1 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^9$

к. п. о.* — кратні параметричні одиниці.

Тепер відзначимо наступну важливу особливість енергетики утворення відходів. Незважаючи на те, що в цілому зростаюча складність технологій вимагає більш якісної енергії і більшої кількості видів енергії, майже 85% поширених технологічних процесів, результатом яких є 90% світового валового виробництва,

засновані на механічному і термічному впливах на сировину або на їх комбінації. Ще частина технологій включає виробничі потужності, які використовують хімічну енергію перетворень. При цьому в якості вхідної енергії використовуються в основному електрична енергія і енергія згоряння викопного палива, а для отримання перших також використовується енергія згоряння органічних речовин. Тому з усіх можливих перетворень енергетики у виробничих системах нас може зацікавити лише мала їх частина, а саме:

- перетворення електричної енергії в механічну і теплову;
- перетворення теплової енергії в механічну;
- перетворення механічної енергії в теплову.

Певною мірою це стосується й електрохімічних, магнітоелектричних перетворень, що мають місце, але в набагато менших масштабах, характерних для енергопродуруючих і спеціальних енергоперетворювальних систем.

Тут слід зазначити, що енергопродуруючі виробничі системи і технологічні процеси представляють особливий інтерес із точки зору процесів утворення відходів і, в свою чергу, вимагають спеціальних досліджень.

Звернемося до фактору, що визначає процеси утворення відходів, це спосіб перетворення і використання енергії в технічній системі. Іншими словами, тут можна говорити про рівень розвитку технічної системи — показник, який хоч і не є визначальним для якості використовуваної енергії, але робить істотний вплив на процес утворення відходів. Найпростішим прикладом, що доводить це, є динаміка розвитку теплових машин — парових, поршневих, турбінних, реактивних, а також відповідні умови перетворення енергії, що сприяють зниженню ентропії в цих системах. Надалі спробуємо розглянути процеси утворення відходів із позицій динаміки розвитку технічних систем.

Продовжуючи наші міркування, звернемося до схеми взаємних часткових перетворень різних видів найбільш поширених видів енергії, представленої в роботах Г. М. Алексєєва (табл. 5.5).

Слід зазначити, що в перетвореннях енергії, спрямованих на підвищення її якості, потенційно можуть брати участь 75% всіх методів перетворення, в той час як тільки зі зниженням якості енергії працюють 25% перетворювачів. Кожен другий тип трансформації є двостороннім і взаємним. Однак на практиці для взаємоперетворень використовується лише кожен п'ятий метод перетворення енергії.

Особливий інтерес представляє структура каналів створення втрат енергії при різних енергетичних перетвореннях (табл. 5.6). Ми знаємо, що всі перетворення енергії в замкнених системах так чи інакше зводяться до виділення неякісної теплової енергії, яка, згідно з другим законом, безповоротно розсіюється в навколишньому середовищі. З усіх тільки електростатична і магнітостатична не володіють прямою здатністю перетворюватися в теплову енергію. Інші види енергії в принципі мають можливість прямого перетворення в тепло.

Таблиця 5.5 — Особливості взаємних перетворень типових видів енергії

№	Вид енергії	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Механічна		+	⊕	+	+	⊕	+	+
2	Пружня	⊕		⊕	-	-	+	-	-
3	Теплова	⊕	+		+	+	⊕	+	+
4	Хімічна	+	-	⊕		-	+	-	+
5	Електростатична	+	-	-	-		+	-	+
6	Електродинамічна	⊕	-	⊕	+	+		+	⊕
7	Магнітостатична	+	-	-	-	-	-		+
8	Електромагнітна	+	-	+	-	-	⊕	-	

- ⊕ — перетворення енергії, які мають практичне застосування;
- + — можливе пряме перетворення;
- — відсутність трансформації.

Однак з усіх видів перетворень, що мають сьогодні практичне застосування, тільки шість засобів забезпечують перехід інших видів енергії в теплову. Решта каналів мають в якості конвертерів певних посередників. Наприклад, щоб забезпечити перетворення електромагнітної енергії в теплову, яке має місце у фотоелектричних перетворювачах, необхідно спочатку перетворити цей вид енергії в електродинамічну, а потім її можна перетворити в теплову.

Таблиця 5.6 — Типові канали перетворення енергії у виробничих системах

№	Вид енергії	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Механічна								
2	Пружня								
3	Теплова								
4	Хімічна								
5	Електростатична								
6	Електродинамічна								
7	Магнітостатична								
8	Електромагнітна								

Такі переходи важливі з точки зору мінімізації енергетичних і, цілком можливо, матеріальних відходів. Для наведеного прикладу втрати енергії, пов'язані з прямим перетворенням електромагнітної енергії в теплову, могли б становити не більше 30%, а в зв'язку з перетворенням посередником втрати енергії склали б 75% (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 — Оціночні показники втрат енергії при різних формах її перетворення в типових установках

№	Вид енергії	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Механічна		0,13	0,88	0,95	0,79	0,56	...	0,98
2	Пружня	0,85		0,95	–	–	...	–	–
3	Теплова	0,78	0,69		...	0,93	0,54	...	...
4	Хімічна	0,97	–	0,81		–	...	–	...
5	Електростатична	0,90	–	–	–		0,60	–	0,75
6	Електродинамічна	0,10	–	0,20	...	0,25		...	0,15
7	Магнітостатична	...	–	–	–	–	–		...
8	Електромагнітна	0,75	–	0,33	–	–	0,45	–	

Існує загальне правило, прийняте в природних біологічних системах. Для самоорганізації і самобудівництва системи більш високого порядку використовують енергію і сировину більш високого порядку, ніж існуючі в системі [33], створюючи при цьому відходи нижчого порядку. Вони, в свою чергу, засвоюються системами відповідного нижчого рівня, а ті, в свою чергу, є сировиною для засвоєння більш високоорганізованими системами.

Використання більш організованої сировини є характерним також для поліпшення впорядкування виробничих систем. Наприклад, розвиток сталеплавильних процесів за лінією: бесемер, мартенівське виробництво, конвертерне, електродугова піч, індукційний сталеплавильний агрегат — здійснюється з метою підвищення продуктивності, підвищення якості сталі і пов'язаний, перш за все, з упорядкуванням енергетичної та сировинної структури виробництва (табл. 5.8).

Напрямок упорядкування виходить від низькоякісної енергії горючих викопних палив, хімічної енергії екзотермічних реакцій до електричних та електромагнітних полів. Відповідно, основні складові сировинної бази впорядковуються, наприклад, від залізної руди, чавуну, брухту до спеціально підготовлених металевих заготовок із задалегідь заданими хімічними властивостями. При цьому очевидна і тенденція розвитку бази відходів цих виробництв. Це пов'я-

зано зі зменшенням кількості відповідних компонентів, упорядкуванням однокомпонентних складових, утворенням менш токсичних і більш пристосованих до утилізації відходів. Іншими словами, очевидно, що властивості бази відходів прагнуть до більшого впорядкування, а сама база відходів стає більш керованою.

Таблиця 5.8 — Вектор упорядкування при розвитку типових сталеплавильних систем

№	Тип виробництва	Головний вид енергії, що підводиться	Якість використаної сировини	Структура утворених відходів
1	Бесемер	Тепло органічного палива, що згорає	Залізна руда	Кислий шлак, металізований пил, CO ₂ , тепло
2	Мартенівське	Тепло органічного палива, що згорає	Металобрухт, чавун	Кислі та основні шлаки, металізований пил, CO ₂ , NO _x , тепло
3	Конвертерне	Тепло екзотермічних реакцій окислення	Металобрухт, чавун	Низькоосновні та основні шлаки, пил, CO, CO ₂ , NO _x , тепло
4	Електровиплавка сталі	Електрична енергія	Металобрухт	Високоосновний шлак, металізований пил, CO ₂ , тепло
5	Індукційний переплав	Електромагнітний розігрів	Спеціально підготовлена металосировина	Тепловий, високоосновний шлак у невеликих кількостях

Ця тенденція, як було показано вище, цілком визначається якістю енергії, що використовується у виробничій системі, і видами енергетичної взаємодії.

5.5. Дослідження проблеми Тьюрінга щодо відходоутворюючих виробничих систем

Виробництво готової продукції та відходів в енергоентропійному аспекті можна розглядати як рішення проблеми Тьюрінга для відкритої системи виробництва відходів, що має зовнішній зв'язок через потоки матеріалів, що проходять через неї.

Перш ніж розглядати цю проблему, дамо деякі пояснення динамічній системі, яка отримала назву «брюсселятор» (за назвою міста Брюссель, де вчені відомої термодинамічної наукової школи І. Пригожина вперше представили цю модель у зв'язку з дослідженнями відкритих нерівноважних систем). Схема брюсселятора (рис. 5.6) разуче нагадує нам загальну структуру виробничого процесу, коли на вході в систему ми маємо певну сировинну базу у вигляді постійних і мінливих у часі **матеріальних** потоків, а на виході — готові вироби і базу відходів, знову ж таки, таких, що змінюються з часом. При цьому структура самої системи може бути уточненою. Давайте розглянемо її докладніше.

Система заснована на двох явищах: взаємодії двох речовин і механізмі автокаталізу, і описується наступними рівняннями:

$$[\alpha] \rightarrow x, \quad (5.22)$$

$$[\beta] + x \rightarrow y + (\rho), \quad (5.23)$$

$$2x + y \rightarrow 3x, \quad (5.24)$$

$$x \rightarrow (\pi). \quad (5.25)$$

При цьому сенс першого (5.22) і останнього (5.25) з наведених рівнянь очевидний. Це перетворення матеріальних потоків. Друге (5.23) рівняння являє собою процес переходу компонента x (змінної частини вхідного матеріального потоку) в його модифікацію — складову y . Але при цьому в брюсселяторі ми отримуємо деяке доповнення у вигляді «хвоста» ρ — кінцевого продукту. У схемі стандартного брюсселятора ця складова взагалі не досліджена. Специфічна формула (5.24) відображає автокаталітичний механізм реакції, коли для того, щоб синтезувати певну речовину, вона має спочатку бути присутньою в системі. Прийемо цю умову як обов'язкову для брюсселятора, але особливу для нашої системи.

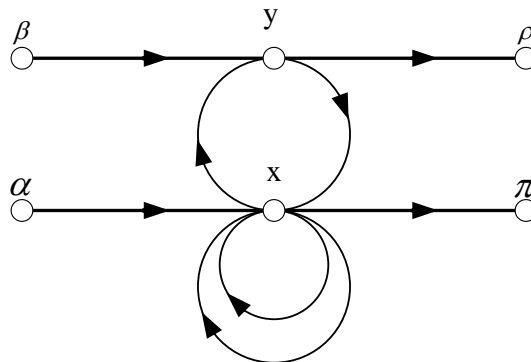


Рисунок 5.6 — Схема брюсселятора для відкритої системи утворення відходів:
 α і β — постійні складові потоків на вході в систему;
 ρ і π — потоки на виході з системи

Припустимо, що для певної виробничої системи за сировинну базу приймається сукупність постійних і змінних матеріальних потоків у певному співвідношенні один до одного. Це співвідношення визначається умовами технологічного процесу і може змінюватися через деякий час. Тоді кінцевим результатом системи є необхідні (результуючі) продукти (π) і деяке доповнення (ρ), яке нас цікавить у вигляді гіпотетичного відходу в даній системі.

Англійський математик Алан Тьюрінг у 1952 році розглядав структурування таких складних нерівноважних систем із позицій механізмів реакцій взаємодії умовних речовин з їх одночасною дифузією в певній технологічній області. Звичайно, це зменшує область застосування подібних завдань. Однак, І. Пригожин довів, що як варіант дифузії можна розглядати і деякі дисипативні процеси [34]. Тьюрінг вдало поєднав ці два механізми і показав, що такі процеси охоплюють досить широкий спектр явищ, починаючи від перетворень неорганічних речовин і закінчуючи біологічним морфогенезом. Вони характерні для більшості сучасних технологічних процесів у хімії, металургії, нафтопереробці, лакофарбовій промисловості, харчовій промисловості та ін. Така модель умовно може описувати широке коло проблем, що підлягають вирішенню, стосовно прикладних досліджень в області нелінійних динамічних систем. Для нас привабливість цієї моделі полягає в тому, що вона була сформульована для відкритих систем, в яких відбувається рух матеріальних потоків, є приплив і відтік матеріалів.

Припустимо, що виробнича система має змінний у часі приплив деякого матеріалу (назвемо його сировинною базою), що складається з двох умовних компонентів із вмістом кожного — $x(\theta)$ і $y(\theta)$. Під першим із них ми умовно будемо розуміти ту частину сировини, яка йде на отримання корисних продуктів (π), а під другою — ту частину, яка в силу відомих перетворень пов'язана у системі з відходами (ρ). Тоді, на виході, ми також маємо два модифікованих матеріальних потоки. Для спрощення припустимо, що технологія безперервна в часі. Математична модель такого процесу, що описує зміну в часі змісту основних компонентів, за Тьюрінгом, має вигляд

$$\frac{dx}{d\theta} = k_1 \alpha + k_2 x^2 y - k_3 \beta x + d_x \frac{d^2 x}{dr^2}, \quad (5.26)$$

$$\frac{dy}{d\theta} = k_3 \beta x - k_2 x^2 y + d_y \frac{d^2 y}{dr^2}, \quad (5.27)$$

$$\frac{dxy}{d\theta^2} = -k_4 xy^2 \quad (5.28)$$

з граничними умовами $\left. \frac{dx}{dr} \right|_{r=-L} = 0$ і $\left. \frac{dx}{dr} \right|_{r=L} = 0$ в області $(-L; +L)$ і часовою

координатою 0.

Тут $\frac{d^2}{dr^2}$ — другі похідні просторового параметру r відображають дифузні

процеси в системі. Тут ми зробимо те ж припущення, що і І. Пригожин: поставимо знак порівнянності між процесами дифузії і дисипації в даній системі. Припустимо, що компоненти потоків $0 < \alpha < 1$ і $0 < \beta < 1$ такі, що завжди $\alpha + \beta = 1$, показують постійну частину припливу речовини x і y , а змінна частина потоку описується складовою $(x^2 y)$. Тобто швидкість потоку пропорційна квадрату скупчення речовини в системі. Цим Тьюрінг вводить у свою модель передумову автокаталізу — механізму, відповідального за отримання необхідної корисної речовини тільки при наявності цієї речовини в системі зпочатку (5.24). Підтримаємо цю умову знову ж таки як особливу, але обов'язкову, оскільки принцип автокаталізу дозволяє підвищити динамічність моделі. При цьому аналогічної динамізації ми зажадаємо від другої частини речовини y , яка пов'язана з виробництвом відходів ρ . Саме це визначає появу третього рівняння в моделі Тьюрінга. Швидкість накопичення речовини $M = xy$, а саме всієї змінної частини складу сировини, пропорційна першій степені накопичення тієї її частини, яка відповідає за отримання корисних продуктів, і другій степені тієї частини, яка відповідає за утворення відходів. На перший погляд, це така умова автокаталізу по відношенню до речовини $M = xy$. Але якщо згадати, що поділ притоку на x і y має умовний характер, який визначається лише ступенем впливу прикладеної в системі енергії на різні компоненти цього потоку і має підтверджуватися тільки на виході системи у вигляді окремих потоків виробництва і відходів, то рівняння (5.28) може відображати процеси впливу першої частини потоку x на його технологічно-еквівалентну другу частину потоку y при отриманні ρ . Це припущення умовне, але воно не спотворює загальну картину нашої системи.

Складова $(-k_3 \beta x)$ у моделі відображає об'ємний потік першої речовини. Відомо, що класична термодинаміка призначена для закритих систем, де дисипація призводить до хаосу. Для відкритих систем, де відбувається прихід енергії або речовини ззовні, можуть мати місце процеси впорядкування, структуризації системи. Ми досліджуємо відкриту систему, де є потоки матеріалів з їх припливом, а також відтоком у вигляді готової продукції та відходів. Якщо для такої системи справедливий другий принцип термодинаміки, то систему слід направити до стійкого стаціонарного стану, і тоді параметр часу можна опустити. Якщо в результаті ми отримаємо умовно однорідну систему, то дифузні (дисипативні) складові також потрібно прибрати. В результаті отримуємо просте рішення:

$$\bar{x} = \frac{k_1}{k_3} \alpha; \quad \bar{y} = \frac{k_3}{k_1 k_2} \beta, \quad \text{або} \quad \frac{\bar{x}}{\bar{y}} = k_2 \frac{\alpha}{\beta}. \quad (5.29)$$

Стійкість системи також підтверджується, якщо процес утворення відходів стаціонарний. При цьому $xy = \text{const}$ і рівняння $xy^2 = 0$ втрачає сенс.

Припустимо, що в обмеженій області ΔL замість початкових даних ми ставимо отримані рівноважні значення \bar{x} і \bar{y} з області сталого стану системи (утворюється така собі термодинамічна гілка). Для спрощення рішення припустимо, що на межах області стану системи відсутня дифузія, тобто складові $\frac{\Delta^2}{\Delta r^2}$ обертаються в нуль. Чи буде стан системи стабільним? Це можна розрахувати. Однак якщо стабільність підтверджується (рис. 5.7, а), ми повертаємося до простого рішення (5.29). При цьому $\frac{\bar{x}}{\bar{y}} = \text{const}$, для будь-яких $\alpha < 1$. А якщо це не так, наприклад, при $\alpha/\beta \gg 1$, то сенс розрахунку втрачається, процес не буде прагнути до рівноваги і ми не отримаємо очікуваного результату (див. рис. 5.7, б). Але в цьому випадку треба враховувати і $\beta \rightarrow 0$. Тоді в рівнянні (5.23) може виконуватись умова $\rho \rightarrow 0$.

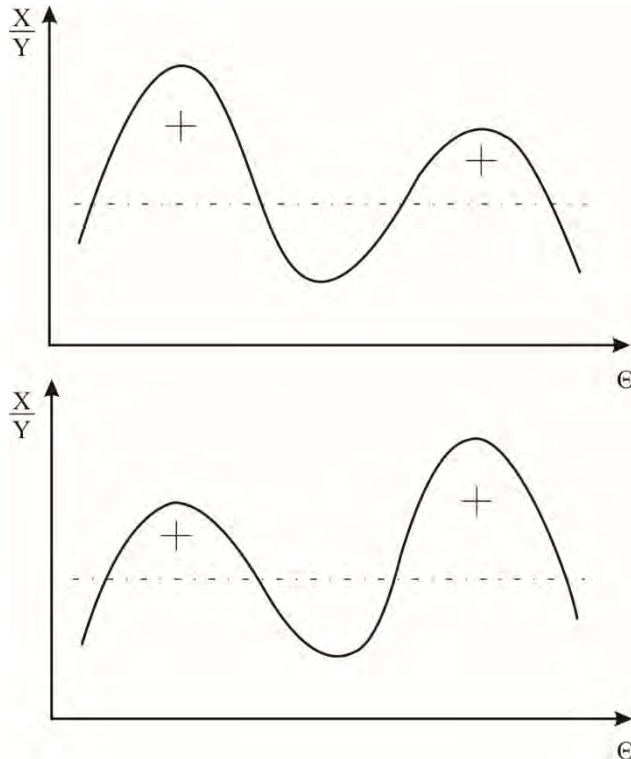


Рисунок 5.7 — Умови стійкості нерівноважної системи в залежності від співвідношення матеріальних потоків α і β вхідних потоків

Іншими словами, умовою мінімізації відходоутворюючої частини ρ в моделі брюсселятора є очевидна нерівноважність відкритої системи.

В області невеликих відхилень від цих станів далеко не при всіх значеннях α і β відхилення в термодинамічній гілці з початковими станами (5.29) будуть стухати.

Наприклад, за умови $\alpha + \beta \neq 1$, зокрема, якщо $\alpha^2 > 1 - \beta$, система отримує розвиток шляхом позитивного зворотного зв'язку — наростаючих автоколиваний. Тобто при таких параметрах α і β система явно нестійка (рис. 5.8). Причому коливальний напівцикл зростає в деякій залежності від функції $\frac{\alpha}{\beta}(d_x, d_y)$. Розглянемо цю залежність докладніше.

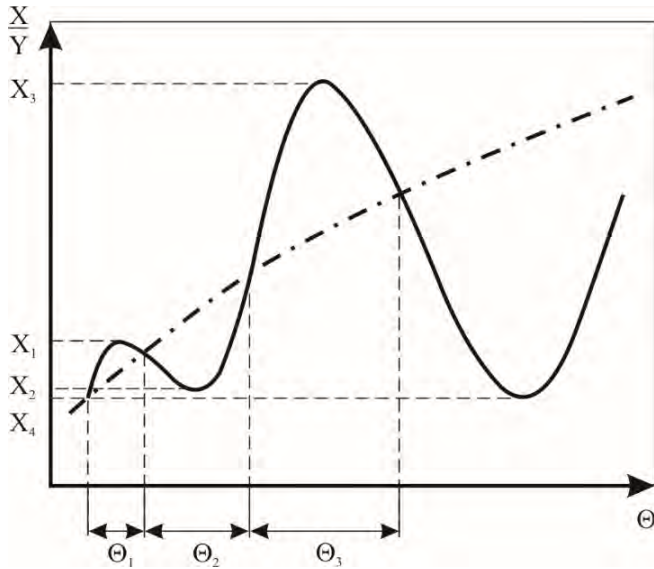


Рисунок 5.8 — Стан стійкості системи за умови $\alpha^2 > 1 - \beta$

Спробуємо порушити систему маленькими кроковими додатками δx і δy та розрахуємо при цьому динаміку процесу. Лінеаризовані рівняння щодо такого стаціонарного стану записуються в матричному вигляді наступним чином:

$$\frac{\partial(x+\delta x)}{\partial\theta} = \begin{vmatrix} d_x \frac{\partial^2(x+\delta x)}{\partial r^2} & 0 \\ 0 & d_y \frac{\partial^2(x+\delta x)}{\partial r^2} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} k_3\beta - k_4 & k_2 x^2 \\ -k_3\beta & -k_2 x^2 \end{vmatrix} \delta x, \quad (5.30)$$

$$\frac{\partial(y+\delta y)}{\partial\theta} = \begin{vmatrix} d_x \frac{\partial^2(y+\delta y)}{\partial r^2} & 0 \\ 0 & d_y \frac{\partial^2(y+\delta y)}{\partial r^2} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} k_3\beta - k_4 & k_2 x^2 \\ -k_3\beta & -k_2 x^2 \end{vmatrix} \delta y. \quad (5.31)$$

1. Якщо $d_x = d_y = d$, то система (5.30–5.31) перетвориться в спрощену:

$$\frac{d}{d\theta} \begin{vmatrix} x+d x \\ y+d y \end{vmatrix} = d \frac{d^2}{d r^2} \begin{vmatrix} x+d x \\ y+d y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} k_3 \beta - k_4 & k_2 x^2 \\ -k_3 \beta & -k_2 x^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} d x \\ d y \end{vmatrix}. \quad (5.32)$$

Тут i — одинична матриця.

Як ми бачимо, в рівнянні присутня тільки змінна β . Тобто, незалежно від значення α , система входить в один із цікавих нас станів, при цьому співвідношення α/β залежить тільки від зміни β . Для лінеаризованої системи рішення може мати вигляд коливальної функції у вигляді відношення $(\sin K x) \cup (\cap)(\cos K x)$, де K — хвильове число в припущеннях ΔL . Бачимо (рис. 5.9), що в даному випадку співвідношення α/β все ж таки прагне до стаціонарного стану в залежності від ступеня дисипації d , але на відміну від термодинамічної гілки — асимптотично затухає.

2. Нас може зацікавити гіпотетична проблема з умовою, коли система не дає відходів. Це пов'язано з припущенням, що $d_x \ll d_y$. Для брюсселятора це означає в рівнянні (5.23)

$$y + \rho \rightarrow y \quad i, \quad \text{тому,} \quad \beta + x \rightarrow y.$$

Співвідношення α/β при цьому послідовно більше одиниці (див. рис. 5.9) і далеко від асимптотичного загасання. Ми знову отримуємо підтвердження того, що нерівноважність брюсселятора є обов'язковою умовою мінімізації параметра ρ .

В цьому випадку матриця другого члена в рівнянні (5.32) зміниться, і матиме вигляд

$$\begin{vmatrix} k_3 \beta - k_2 d_x - k_4 & k_2 x^2 \\ -k_3 \beta & -k_2 x^2 - k_3 d_y \end{vmatrix}. \quad (5.33)$$

За умови, що у нас є хоча б одне реальне дійсне значення матриці (5.33) (а це легко можна забезпечити, відрегулювавши співвідношення α/β), рішення має бути наступним:

$$\left| \frac{\alpha}{\beta} \right| e^{\lambda_- \theta} \sin(Kr) \quad \text{або} \quad \left| \frac{\alpha}{\beta} \right| e^{\lambda_+ \theta} \cos(Kr).$$

Тут λ_+ і λ_- — власні значення оператора (5.33). І. Пригожин показав, що ці значення змінюються на величину $(-d K^2)$ в результаті додавання механізму дисипації в систему. Ще раз підкреслимо, що процес дисипації тут можна співставити з процесом дифузії. У той же час, якщо умова $d_x = d_y$ не впливає на позитивне рішення, тобто дисипація не вносить додаткову нестійкість в систему, то при $d_x \ll d_y$ система проявляє себе як сильно нерівноважна, перш за все, саме

завдяки процесам дисипації. Іншими словами, якщо речовина, з якої виходять корисні продукти, дисипує в системі набагато повільніше, ніж та її частина, з якої виходять відходи, то зміст другого з них у замкнутому просторі ΔL значно знижується. Але при цьому система переходить у сильно нерівноважний стан.

У цьому випадку для стабільності стану досить, наприклад, гіпотетичної умови $\beta = 1$, $\alpha = 0$ (в даному випадку власні значення оператора $\lambda_{\pm} \leq 0$). Розрахунок на малих приростах у системі (5.26–5.28) дає нам однозначний результат автоколивального стану системи в околі точки (x_0, y_0) (рис. 5.10). Як тільки в системі змінюється початкова умова, при якій $\beta - \Delta\beta < 1$, а $\alpha + \Delta\alpha > 0$, вона переходить у нерівноважний стан коливального процесу. При цьому, цикл коливань складається з обчислювальних областей, що описуються лінійними залежностями $x = K_i f(y)$ і $x = K_i \phi(-y)$, включаючи автокаталітичні області, описані рівняннями типу $xu^2 = C_j$, а також необчислювані нелінійні області між ними.

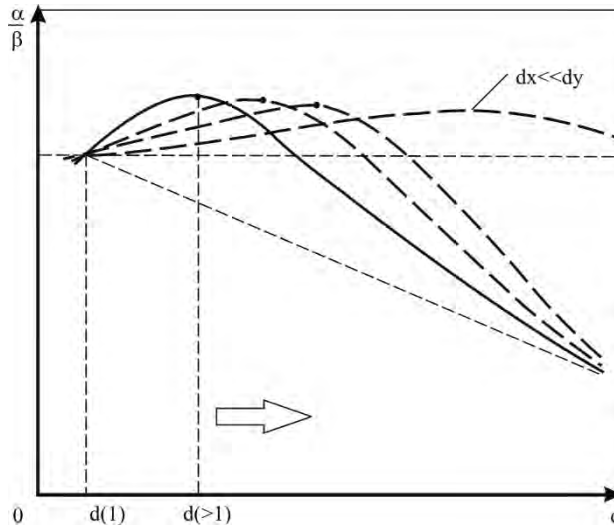


Рисунок 5.9 — Стійкість системи утворення відходів в умовах $d_x = d_y$ і $d_x \neq d_y$

Це означає, що, змінюючи початкові збурення по відношенню до x малими кроками, ми отримуємо рішення, яке по черзі «завалюється» то в один, то в інший бік від сталого стану. Складно показати, що такий стан реально досяжний. У подібному випадку Тьюрінг доводить, що рішення може виявитися стаціонарним, але на відміну від стабільної термодинамічної гілки, воно складається з нескінченного числа максимумів і мінімумів і також є нестійким.

Таким чином, шляхом розрахунку ми отримали абсолютно однозначний результат: з точки зору стійкості відкритої термодинамічної системи, що утворює відходи, в розумінні другого закону, нульового потоку відходів у системі бути не може. У загальному надходженні речовини у вигляді (α, β, x, y) завжди є

відособлена частина, яка в кінцевому підсумку дає вихід по $y + p$. Але, чим більше тут y і менше p , тим більш нерівноважною повинна бути відкрита система.

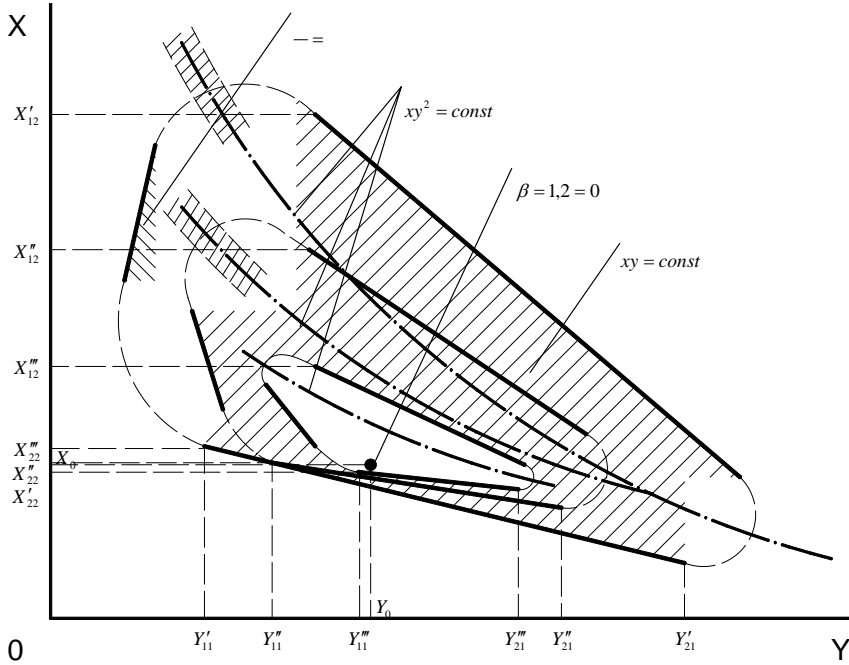


Рисунок 5.10 — Коливальний цикл для області мінімальних приростів в околі $\beta = 1$ і $\alpha = 0$.

5.6. Особливості зовнішнього енергетичного збудження брюсселятора як один із можливих механізмів мінімізації утворення відходів в осередку виникнення

Звернемо увагу на одну особливість брюсселятора, яка дозволяє наблизитися до вирішення проблеми мінімізації відходів у джерелі походження, тобто в самому технологічному процесі. Міркування такі.

Незворотність ентропійних процесів у сильно нерівноважних відкритих системах за І. Пригожином полягає не тільки в самій дисипації. У таких відкритих системах, до яких слід віднести всі без винятку системи виробництва товарної продукції, необхідно також розрізнити два потоки ентропії, що забезпечують стан «поточної рівноваги» (термін Л. Бергланфі): фактичне виробництво ентропії всередині системи, що підлягає мінімізації, і відтік ентропії в зовнішнє

середовище (теорема Пригожина). Якщо друге переважає над першим, система здатна до синергії [35]. У нашому випадку, коли ми намагаємося вивчити процеси утворення відходів, це означає, що система здатна виробляти якусь продукцію, в результаті здійснення процесів самоорганізації.

Тут має право на існування наступний умоглядний образ, що в якійсь мірі відкриє можливості для порівняння процесів утворення відходів з їх енергоентропією через відповідну інтерпретацію відомої теореми І. Пригожина.

Процеси утворення відходів із точки зору термодинаміки в будь-якій системі виробництва — це свого роду відплата, яку ми несемо у вигляді сукупної ентропії з системи в зовнішнє середовище задля того, щоб інша частина системи могла самоорганізуватися заради цілеспрямованого виробництва. На думку І. Пригожина, у відкритій системі відбувається стійкий процес зростання ентропії, який може бути врівноважений тільки відтоком цієї ентропії у зовнішнє середовище з постійними параметрами. Якщо цей відтік переважає над отриманням ентропії всередині самої системи, то така система спрощено здатна до самоорганізації. Тому будь-яка виробнича система стає здатною на такі дії тоді і тільки тоді, коли є її дисипативна частина у вигляді якихось відходів. Якщо це так, то теза про те, що безвідходного виробництва не існує, знову стає цілком об'єктивною.

Мінімізація відходів із цієї точки зору є не що інше, як дотримання пропорційності між можливостями відтоку ентропійної складової в зовнішнє середовище і припливом ентропії всередині самої системи. Цей взаємозв'язок може бути ключовим для розуміння процесів утворення відходів. Вони, в першу чергу, пов'язані з якістю енергії, що подається в систему, яка може не тільки «перетравлювати» велику частину компонентів багатоконпонентної сировинної бази, а й забезпечити відтік тієї частини ентропії, яка дозволить забезпечити перебудову іншої частини цієї сировини в корисні продукти.

З точки зору нерівноважної термодинаміки, очевидно також, що чим більше корисних продуктів виробляється, тим більше відходів утворюється. Причому цей процес є незворотнім і багато в чому статистично невизначеним. Він носить біфуркаційний характер.

Випадковість, ймовірність, вибір, біфуркація. Перелік цих понять, введений вперше в такому поєднанні І. Пригожиним [9], дуже точно відображає процеси випадкового вибору процедур появи відходів у будь-якій виробничій системі.

Звичайно, така інтерпретація теореми Пригожина дуже спрощена, і надійної практики, крім логіки, у нас поки немає. Але вона існує, принаймні в розрахунках.

Звернемося ще раз до спрощеної математичної моделі «брюсселятора» з точки зору її збудливості іншими способами, ніж ті, на які вказують автори. Якщо вистачить сміливості пов'язати модель «брюсселятора» з максимально

спрощеним технологічним процесом, а також із процесами утворення відходів, то можна претендувати на те, щоб створенням умов для зовнішнього збудження переорієнтувати компоненти сировинної бази (X , Y) у готовий продукт (π), в межі, максимально виключивши їх зі складу компонентів (ρ), що утворюють відходи. Наприклад, за допомогою зовнішнього збуджуючого енергетичного поля певної якості.

В якості першого наближення така модель відображає умови стабільності для хімічних реакцій. Такі реакції засновані на хімічному перетворенні речовини в присутності каталізатора, процес відновлення якого в реакції є циклічним.

І. Пригожин досить майстерно показує, що в такому циклічному процесі можуть брати участь дифузійні явища, і тоді циклічний хімічний процес набуває якостей фізико-хімічного процесу [37]. Спектр таких реакцій у природознавстві і, зокрема, в промисловості дуже широкий. При цьому можна припустити деякі мимовільні флуктуації параметрів розподілу речовин, що беруть участь у реакції, по всьому об'єму. В даному випадку граничний цикл «брюсселятора» перетворюється в періодичний процес з певною частотою f (так званий пригожинський «хімічний годинник») і мінливою амплітудою концентрацій компонентів $X(Y)$ навколо стаціонарного фокуса S , який є похідною від концентрацій початкових і результуючих речовин у «брюсселяторі» [34, 35]. Тому слід розуміти, що частотна реакція «брюсселятора», так само як і його дифузійні процеси, стають рівноправними складовими фізико-хімічного стану системи [34, 36, 37]. Звичайно, це стосується не всіх подібних моделей. Проте створення умов для управління структурною стійкістю та її порядком за допомогою зовнішніх штучних флуктуацій може бути застосовано до певного кола завдань в області термодинамічних систем. «Брюсселятор» цінний тим, що описує реальну модель самоорганізації не тільки з урахуванням явищ дифузії і осциляцій, які, до речі, теж є нормою енергетичного впливу. Збудження, наприклад, зовнішніми періодичними коливальними впливами, особливо при дуже низьких енергіях, у таких моделях може надавати широкий спектр можливостей впливати на їх стійкість, а значить, бути здатними до самоорганізаційних процесів. І. Пригожин називає цю ситуацію порядком через флуктуацію [38].

Нас може зацікавити, як така модель поведе себе в разі збудження додатковим штучним джерелом, у вигляді зовнішнього надслабкого збуджуючого фізичного впливу, наприклад, за допомогою зовнішнього механічного частотного поля, або, наприклад, надслабкою вібрацією, або за допомогою надслабкого електромагнітного або радіаційного поля високої частоти тощо (рис. 5.11). В результаті вдається отримати або прискорення фізико-хімічних процесів, або руйнування циклічності реакції $X(Y)$ в бік від граничного фокуса S у співвідношенні концентрацій. При цьому не виключені резонансні явища, які самі по собі здатні завчасно зробити систему нестійкою [39].

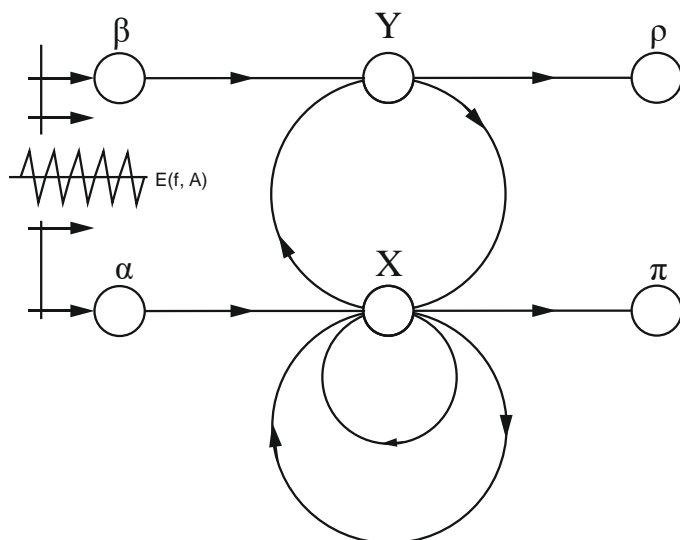


Рисунок 5.11 — Спрощена модель «брюсселятора» для умов зовнішнього надслабкого енергетичного впливу типу $E[(X), f]$

Альтернативна система відрізняється від основної системи, описаної рівняннями (5.22–5.25), завдяки рівнянню

$$[\alpha] \rightarrow x, \quad (5.34)$$

А саме, в ній бере участь рівняння слабкого енергетичного ефекту, який відповідає умові, $\lim_{\substack{x \rightarrow \delta \\ y \rightarrow \bar{n}}} \Delta E(\frac{x}{y}) = 0$ з відношенням $E = E[(X), f] = \text{var}$. Тут: — амплі-

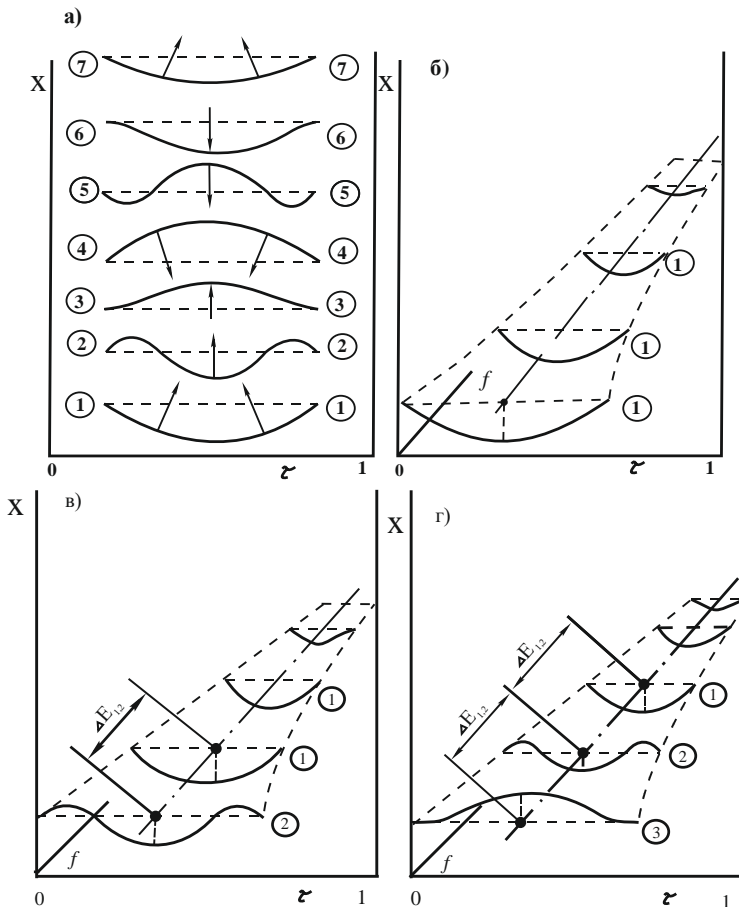
туда коливання концентрацій відповідного параметра; f — частота зовнішнього енергетичного впливу.

Спробуємо, хоча б у першому наближенні, визначити, чи існують умови, при яких зовнішній періодичний енергетичний вплив, при надслабких частотах і амплітудах, призведе до збереження циклічності у цій моделі.

Для фізико-хімічних процесів, описаних І. Пригожином у «брюсселяторі», однорідність системи підтверджується в її рівноважних або слабо нерівноважних станах, таким чином, що навіть слабка дифузія (це теж ультраслабке енергетичне поле) має початкову просторову симетрію [33]. Для «брюсселятора», що перебуває під впливом зовнішнього збуджуючого енергетичного поля $E[(X), f]$, втрачається поняття системної нестійкості. І тільки у деякому мінімальному за частотою f і амплітудою (X) зовнішньому впливі однорідність системи порушується відразу при переході з рівноважного стану, навіть у слабкий нерівноважний стан. При цьому впорядкованість і циклічність у системі зберігається протягом деякого часу T .

Коливання змінних параметрів X в часі зберігається. А при $f=0$ наші дані практично повністю збігаються з даними [9]. Але в певному граничному просторовому діапазоні такі коливання несуть на собі сліди самоорганізації, зокрема, підтвержені періодичністю з'явлення таких коливань. Виникає ситуація, коли в системі з'являється область декількох стаціонарних станів для одного і того ж параметру. У дослідженнях І. Пригожина такого не спостерігалось.

Вплив ультраслабкого ефекту збуджуючого енергетичного впливу, перш за все, відчувають параметри просторового розподілу концентрацій ($\alpha, \beta \dots$) речовин, що беруть участь у «брюсселяторі». Якщо в попередній моделі можна вважати їх розподіл практично рівномірним, то, на думку І. Пригожина, ця рівномірність концентрацій посилюється до межі («сині» та «червоні» молекули в моделі Пригожина) і сприяє неупорядкованості системи. При цьому втрачається здатність до самоорганізації. А збуджуюче ультраслабке частотне поле сприяє, навіть у найменшому обсязі, появі періодичної зміни поля концентрації, флуктуації його параметрів, впливаючи, таким чином, на розвиток процесів самоорганізації.



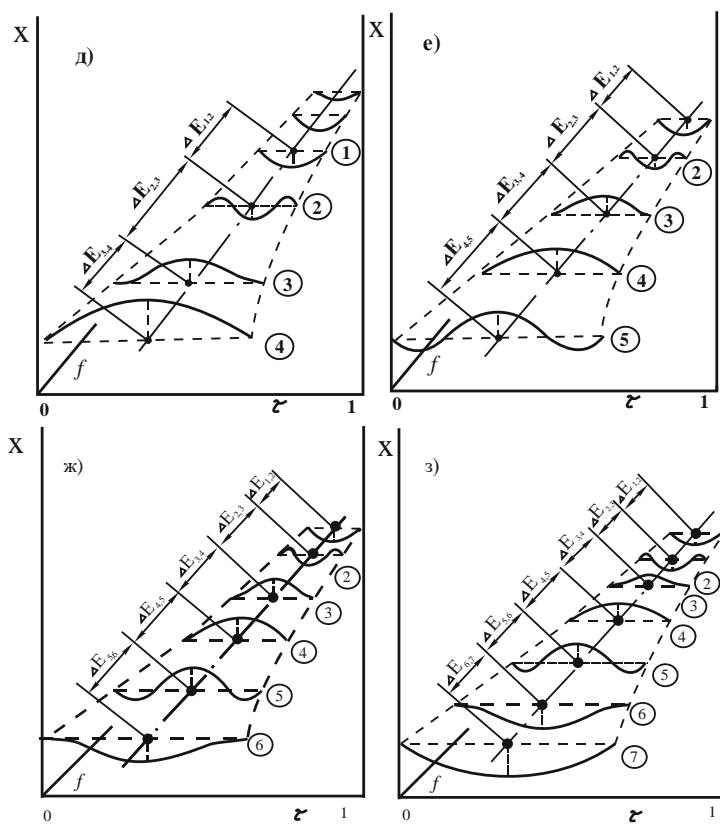


Рисунок 5.12 — Розрахункові дані послідовності просторових етапів хімічної хвилі розподілу концентрацій початкових компонентів у реакціях типу «брюсселятор» при $\Delta t = 0,53$ с, при коефіцієнтах дифузії $\lambda = 35 \cdot 10^{-5}$ і $\lambda = 17,5 \cdot 10^{-5}$. Концентрація компонентів $A = 1$, $B = 2,75$; $(1 + A^2 < B)$. $T = 3,88$ с

Якщо однорідність дифузної системи підкреслюється для рівноважного або слабо нерівноважного стану, коли система просторово однорідна, то в разі зовнішнього надслабкого збуджуючого енергетичного поля $E[(X), f]$ однорідність може мати місце тільки в системах, що знаходяться в строго рівноважному стані. Будь-який вихід системи реагентів зі стану рівноважності тягне за собою виникнення нових видів нестійкості, при яких порушується початковий стан просторової симетрії (див. рис. 5.12).

Однак якщо звести параметри дії зовнішнього хвильового впливу до мінімальної межі (перша фаза на рис. 5.12, б, ..., з), не знімаючи їх зовсім, система зможе самостійно входити в стани сильної нерівноважності і стати здатною до самоорганізації за найменший проміжок часу. Про це свідчить процедура загасання частотного сигналу X на рис. 5.13. Така характеристика відображає критичну поведінку енергетичної функції при тих же значеннях параметрів, що й на рис. 5.12.

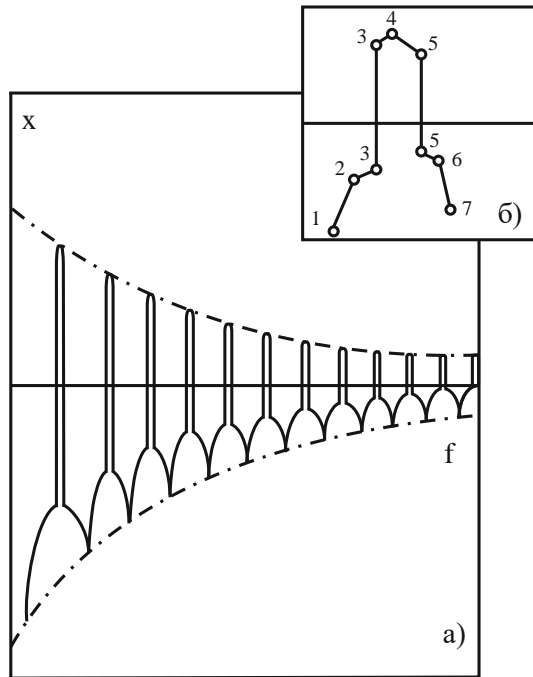


Рисунок 5.13 — Амплітудно-частотна характеристика просторового сигналу (X) за алгоритмом розподілу [8]

Раніше ми стверджували, що для кожного компонента багатокомпонентної сировинної бази певної виробничої системи повино бути відповідне джерело енергії перетворення, яка відповідає за зміну конкретної складової цієї компоненти. В якості такого джерела енергії, крім основного, задіяного в даному технологічному процесі, може існувати поле іншої якості, що налагається: *синхронізований енергетичний сигнал, вторинний енергетичний вплив, енергетична модуляція сильного сигналу слабшим, резонансний ефект тощо.*

Беручи до уваги багатокомпонентний характер сировини і селективність джерел енергії, слід розуміти, що від погодженості видів та якості енергії, що використовується у виробничих системах, залежить те, які компоненти сировинної бази будуть перебувати у відходах, а які будуть перетворені і стануть корисними продуктами (рис. 5.14). Традиційна технологія отримання корисних продуктів, назвемо її « P_1 », має на увазі його вузьку номенклатуру з широким спектром компонентів бази відходів. У суворій відповідності з теоремою Пригожина [35] необхідно розділяти ті компоненти сировинної бази, які можуть за допомогою додаткової енергії отримати вид продукту з корисними властивостями (« P_2 », « P_3 », ..., « P_5 »), але при цьому обов'язково залишаться ті компоненти, які підуть у відходи у вигляді «плати» за синергію в системі (зокрема, окрім « $O_1 \div O_4$ » ще і « O_5 »), (див. рис. 5.14, б). Принаймні, якщо традиційно $\sum \langle O_i \rangle > \sum \langle P_k \rangle$ (див.

рис. 5.14, а), то при енергетичній модуляції ΔE , використанні широкого спектру інших джерел енергії, що дозволяють переробляти інші компоненти сировинної бази, можна значно збільшити продуктову базу існуючої виробничої системи, довівши її до стану принаймні $\sum \langle P_k \rangle \sim \sum \langle O_i \rangle$ (див. рис. 5.14, б). Причому основою вибору власного шляху для таких компонентів в кожному конкретному випадку є точка біфуркації, як вибір між здатністю певного компонента просто піти у відход, або, зазнавши деяких змін, пов'язаних із додатковим енергетичним впливом, залишитися в системі як продукт із корисними властивостями (див. рис. 5.14).

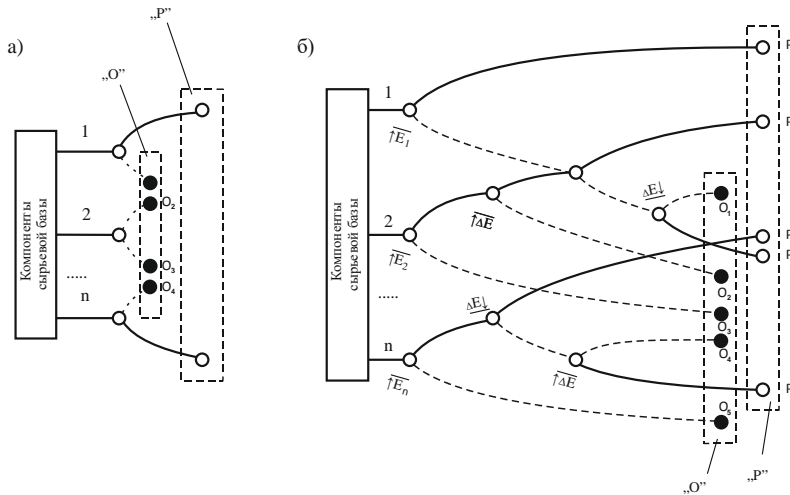


Рисунок 5.14 — Біфуркації у процесах самоорганізації всередині виробничої системи за рахунок зовнішнього енергетичного поля (ΔE)

І. Пригожин підкреслює, що для заданих граничних умов у сильно нерівноважній системі може існувати не один, а кілька стаціонарних станів, зокрема, в залежності від вмісту початкової речовини [9]. Тому може бути як мінімум кілька варіантів, при яких буде створено умови для сильного порушення рівноваги в реакціях отримання відходів.

У випадку з технологічними процесами, що відповідають за надходження продуктів і відходів, необхідно вказати, насамперед, яким повино бути це джерело енергії, його характеристики. «Брюсселятор» із зовнішнім збуджуючим енергетичним полем може дати таку підказку, у якості першого наближення. Хоча б одну з відповідей слід шукати в напрямку низькоенергетичного високочастотного модулюючого ефекту, про що свідчать дані [40].

Щодо систем, що утворюють відходи, умовна модель мінімізації відходів у джерелі походження вимагає рішення у вигляді знаходження оптимального енергетичного поля для кожного компонента сировинної бази. *Рішенням проблеми може стати енергетичне поле, яке в двосдиній термодинамічній системі*

«продукт-відход» будь-якого подібного технологічного процесу забезпечило б умови для створення сильного порушення рівноважності в тій області, яка раніше вважалася близькою до рівноваги і відповідала за перетворення сировини в деякі відходи. Ця теза чекає свого експериментального підтвердження в різноманітних технологіях.

ГЛАВА 6

ПРИНЦИП ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ДВОЄДНОСТІ ЯК ОСНОВА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

- 6.1. Актуалізація другого закону термодинаміки в сучасних галузях знань
 - 6.2. Вплив умов термодинамічної нерівноважності виробничої системи на процеси утворення відходів
 - 6.3. Сміслове значення умови термодинамічної нерівноважності в технологічних процесах
 - 6.4. Мінімізація утворення відходів у джерелі походження – сучасний виклик у технологічних процесах
 - 6.5. Перспективи методологій мінімізації відходів у джерелі їх походження
-
-

У вступі до книги ми згадали відмінності між природними і штучними технологіями. Якщо природа використовує обмежену кількість перших і вони багато в чому пов'язані з виробництвом і утилізацією біологічного матеріалу, то штучні технології, створені людиною — від стародавнього землеробства до сучасних нанотехнологій, спрямовані не тільки на отримання якогось корисного для людини продукту, але й супутніх йому відходів. Протягом багатьох століть найдосвідченіші майстри створювали не просто нову продукцію, матеріали, вироби, а знаходили абсолютно унікальні послідовності дій, обробляли сировину тільки одним зрозумілим для них способом, використовуючи ті енергетичні ресурси і ті фізичні, хімічні та інші закони, які були в їх розпорядженні в той час.

Переважна більшість давніх, і не тільки, технологій створювалися в умовах недостатньої кількості енергії. Тому не вся сировина піддавалася правильній і необхідній обробці. Навіть пізніші технології середньовіччя дуже залежали від доступних джерел енергії — м'язової — людської і домашніх тварин, енергії води і вітру, тепла. Тільки наукова революція збагатила інженерів, дала їм послідовно нові джерела енергії — парову, хімічну, електричну, електромагнітну, атомну тощо.

На перший погляд, це дозволило створити технології, в яких одночасно можна було б використовувати різні джерела енергії для переробки сировини, що була в розпорядженні фахівця. Але більшість створених нових технологій,

як і раніше, були розраховані тільки на джерело енергії, що з огляду на відомі фізичні та інші фактори дозволяло перетворювати в корисні продукти лише частину наявної сировини. Умовна домінанта над все тими ж енергетичними обмеженнями в технологіях залишилася. Та ж сама енергія використовувалася для зміни стану і тієї частини сировини, яка безповоротно пішла у відходи, як така, що не має споживчої цінності. Така технологічно обмежена ідеологія зберігається протягом багатьох століть й існує сьогодні, в найсучасніших технологічних процесах.

І не останню роль у цих взаємовідносинах відіграє термодинаміка будь-якого технологічного процесу. Умови енергетичного впливу на різні компоненти використовуваної сировини завжди істотно розрізняються і залежать від багатьох законів фізичного, хімічного, біологічного характеру в залежності від спрямованості технології, її призначення, тобто від стану корисних продуктів.

6.1. Актуалізація другого закону термодинаміки в сучасних галузях знань

Другий закон термодинаміки має незаперечне й універсальне світоглядне значення. І, незважаючи на те, що його дія стосується замкнутих термодинамічних систем, зусиллями Р. Клаузіуса, Дж. Гіббса, Р. Конна, І. Пригожина, П. Гленсдорфа та інших, він не втратив свого універсального значення для термодинамічно відкритих систем, ставши тим самим універсальним законом.

Протягом останніх десятиліть друге начало термодинаміки використовувалося як зразок у багатьох областях знань, іноді далеко за межами класичної термодинаміки, де його застосування було не дуже придатним. Це викликає скептичну реакцію вчених в області класичної термодинаміки, і все ж «розширення» галузей використання другого закону відбувається семимильними кроками.

Багато робіт присвячено інтерпретаціям другого закону термодинаміки. Ентропія — це властивість, ентропія — вектор, ентропія — функція стану, ентропія — параметр стану. Ці визначення блукають по різних джерелах, іноді розширюючи смисловий зміст терміна, іноді конкретизуючи його для прикладних завдань [1, 2, 3, 4], а іноді відводячи від суті питання.

В даний час не просто сформулювати якесь узагальнене поняття назви «ентропія» в природознавстві. У термодинаміці сплавів існує один підхід до ентропії і вільної енергії, в хімічній кінетиці і термодинаміці — інший, в механіці і теплових процесах — третій, в класичній енергетиці — четвертий тощо. Суперечок із цього питання додала нерівноважна термодинаміка. Якщо додати сюди численні існуючі і не пов'язані між собою модифікації ентропії, такі як інформаційна ентропія, як міра якості інформації в системі, соціальна ентро-

пія, як міра дисперсії активності в суспільствах, фінансова ентропія, як втрата інформаційного змісту фінансової звітності, ентропія Великого вибуху і розширення Всесвіту, як міра розсіювання матерії, ентропія зірок і т. д., то виникає деяка плутанина, яка вимагає розширеного розуміння цієї назви.

У деяких прочитаннях першоджерела класичної термодинаміки не передбачали суворої прив'язки ентропії до енергії [2, 5]. Фрази «Ентропія» і «Енергія» далеко не так корелюються, як може здатися згадуючи Клаузіуса, який писав просто: «Я навмисно вибрав слово «ентропія» ближче до слова «енергія», оскільки обидві величини, відповідні цим виразам, настільки близькі за своїм значенням, що вони, на мій погляд, вимагають єдиного позначення» [6].

Неважко слідувати логіці Клаузіуса при виборі такого позначення. Ентропія нібито близька і співзвучна терміну енергія як за формою, так і за змістом. Сюди ж відносяться такі терміни, як ексергія, анергія, негентропія, кожен з яких існує в круговороті енергетичних обмінів у вигляді свого смислового значення. І за своїм значенням, так чи інакше, вони показують зв'язок із поняттям енергії (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. – Смысловий зміст деяких термінів, пов'язаних з енергією та ентропією

№	Оригінальний термін	Кореневе значення	Відоме тлумачення терміну
1	Енергія	Ерг	Ступінь можливої або фактичної активності системи
2	Ексергія	Ерг	Максимальне значення енергії, яку можна корисним чином використовувати в системі
3	Анергія	Ерг	Частина внутрішньої енергії, яку ніяк не можна перетворити в ексергію
4	Ентропія	Тропі	Міра безповоротних втрат енергії, її розсіювання
5	Негентропія	Тропі	Міра впорядкованості, організація системи, протилежність ентропії

Перші три назви, як похідні від терміну енергія, показують ступінь її спрямованості на засвоєння енергії. Четверте і п'яте найменування показують взаємно протилежний напрямок (векторне відображення) від терміну ентропія.

Р. Кан у роботі [1] спробував уточнити Клаузіуса і витончено показав енергоентропійний зв'язок між першим і другим законами термодинаміки. При постійних T і P ентропія була введена в рівняння енергетичного балансу через те-

плоту $\Delta Q = T \Delta S$ так, що при рівності внутрішньої енергії ΔU і ентальпії ΔH з першого закону $\Delta U + W = \Delta Q$ ми маємо $W = \Delta Q - \Delta U = T \Delta S - \Delta H = -\Delta G$, де $-\Delta G$ — вільна енергія Гіббса (ізобарно-ізотермічний потенціал). Канн вказав на об'єктивність енергетичного змісту вільної енергії, а отже, і ентропії. Принаймні, при постійній температурі системи. Такий зв'язок між двома термодинамічними законами дав підставу для того, щоб властивості ентропії прирівняти до властивостей енергії. В окремих випадках, наприклад, коли вальна ентропія порівнянна з енергією через значення питомої теплоємності, як показник теплового розладу, і грає роль ємності до накопичення енергії, але не більше.

Якщо прийняти точку зору А. Коттрелла [7], який представив вираз ентропії $\Delta S = \Delta Q/T$ «як систему з абсолютною температурою T , що поглинає нескінченно малу кількість тепла і не має ніяких інших змін», то напрашується висновок: поглинання тепла без підвищення температури можливе тільки при збільшенні ємності поглинаючої системи, тобто її середньої теплоємності. Тут також ентропія — це ємність для енергії. У роботі [8] підкреслюється часова складова поняття ентропії, що дає можливість узагальнити термін. Існують дослідження, які ставлять під сумнів власне другий закон термодинаміки [9], правда, поки безуспішно.

Але «джина» з пляшки вже випустили.

Це надало змісту щодо міркувань в інших галузях знань: інформатиці, філософії, економіці та ін. Фахівці в області ІТ-технологій все активніше експлуатують зв'язки між поняттям ентропії та інформації, спираючись на логічну тезу про інформацію як міру впорядкування системи — чим більше інформації про систему, тим більш вона впорядкована, тим менша її ентропія як міра розсіювання, і навпаки [10]. До ладу дійшов закон К. Шенона (ентропія — це міра невизначеності інформації або, іншими словами, збільшення інформації дорівнює втраченій невизначеності $H = -\sum (p(x_i) \cdot \log_2 p(x_i))$), що добре кореспондується зі статистичним виразом Больцмана для ентропії змішування ($S_{\text{mix}} = k \cdot \ln W$, де W — кількість розподілів, що належать системі при T_{const}), що дало початок величезній кількості досліджень як у термодинаміці, так і в інформатиці.

Другий закон в інформатиці поступово став отримувати підтримку і пояснення з боку квантової теорії. Інформаційна сторона другого закону все частіше трактується у вигляді квантової проблеми, виключаючи при цьому її імовірні оцінки. Фахівці з квантової механіки доводять, що збільшення ентропії є не просто результатом імовірнісних змін, а, по суті, наслідком квантових явищ, зокрема, «квантової заплутаності»: що може, а що не може статися, з урахуванням середовища системи. Тобто ентропія відноситься до логічних наслідків квантового ресурсу інформації [11]. З'явилася одна з можливостей позбутися громіздкої ймовірнісно-статистичної системи оцінки ентропії. Сучасна квантова механіка показує, що в основі властивості заплутаності системи із

зовнішнім середовищем знаходиться наступний фундаментальний зміст. Зменшення ентропії системи має відбуватися тільки за рахунок збільшення ентропії зовнішнього середовища таким чином, щоб сума цих двох ентропій збільшувалася або залишалася незмінною.

Квантова версія термодинаміки виявилася дуже плідною з точки зору поширення своїх претензій на інші галузі знань. Це так звані «ресурсні теорії», в яких йдеться про те, які перетворення можливі, а які ні в умовах незворотності процесів. Доречно звернутися до робіт оксфордського вченого Девіда Дойча, який розробляє так звану «теорію конструкторів», в якій робить спробу сформувати світ, в якому ймовірності і випадковості у фізичному змісті просто відсутні. Мета теорії — встановити, які події можуть відбуватися з урахуванням умов зовнішнього середовища, а які — абсолютно ні. Автор поділяє процеси на реальні і повністю виключені в залежності від умов зовнішнього середовища. В основі теорії лежить розуміння, що всі фізичні категорії засновані на можливих і неможливих перетвореннях, які в умовах незворотності набувають об'єктивного сенсу, у вигляді «цеглинок» Всесвіту.

Змісту та управлінню ентропією в системах бухгалтерського обліку присвячені праці фінансистів [12, 13, 14]. Ось, наприклад, втрата змісту інформації у фінансовій звітності приймається за ентропію системи, розуміючи під цим фінансові втрати, пов'язані з інформаційними деформаціями в системах обліку. Управління рівнем ентропії приймається за забезпечення стабільності системи бухгалтерського обліку.

Застосування ентропії в гуманітарній сфері засноване на об'єктивних протиріччях суспільних відносин. Об'єктивна реальність ентропії полягає в тому, що її односпрямованість відіграє сьогодні важливу роль у філософських суперечках про «стрілу часу», про співвідношення цілого й окремого, у політологів — у питаннях про неминучість рівноважних станів у суспільстві і навіть у законотворчості, як основа для мінімізації зростання ентропії таких систем [15, 16].

Патріарх нерівноважної термодинаміки І. Р. Пригожин у своїй Нобелівській промові і в наступних роботах підкреслює широту поля претензій, що стосується поняття ентропії відкритих систем, і закликає не відмовлятися від її більш широкого тлумачення. Плідна концепція нерівноважності систем може мати величезну кількість інтерпретацій для різноманітних об'єктів дослідження. І не треба цуратися аналогізмів. Якщо при цьому дотримані умови неізоляваності системи, то зміст термодинамічної нерівноважності отримує велику підтримку і в середовищі не строго термодинамічних систем в якомусь специфічному формулюванні.

До довільних (а часом і не строгих) трактувань другого закону термодинаміки для замкнених систем віднесемо наступне:

– енергія поширюється від більш теплого об'єкта до більш холодного, але не навпаки;

- тепло не може мимовільно переходити від холодного тіла до більш теплого;
- кінцева ентропія не повинна бути менше початкової;
- чим більше енергії перетворюється в ентропію, тим менше її залишається для виконання роботи;
- ентропія виступає мірою невизначеності (невпорядкованості) або складності системи;
- ентропія як інформаційна (енергетична) ємність системи;
- ентропія як ступінь безладу або хаосу у Всесвіті;
- ентропія як міра безладності або залишається незмінною, або збільшується;
- ентропія як міра незворотності процесів у замкнутій системі.

У різних системах ентропія прирівнюється до недостовірної інформації, її втрат, зниження соціальної активності і загострення виробничого потенціалу в суспільстві, зниження активності грошової маси і т. д. У деяких роботах енергія довільно ототожнюється з пасіонарністю в суспільстві, його продуктивними показниками, обсягами інформації, кількістю грошей та іншими ємнісними та потенційними характеристиками в різних галузях знань. Звичайно, багато з цих показників несуть в собі образний, часом не вербалізований зміст і можуть лише якісно претендувати на роль закономірностей, що відображають другий закон термодинаміки. Наприклад, відома формула Л. Бріллюена про математичну залежність між інформацією й ентропією оперує тільки на мікроінформаційному рівні, який відноситься до молекулярних процесів. Для макроінформаційного рівня поширення формули Бріллюена немає. Проте така помилка прийнята як така в багатьох філософських судженнях.

У зв'язку з цим ми спробуємо «легалізувати» деякі варіанти застосування другого закону до нефізичних систем. Перш за все, треба погодитися з тим, що така вільність у будь-якій галузі знань (наприклад, [16]), найчастіше, призводить до наступного:

- втрачається строгість викладу матеріалу;
- далеко не завжди зберігається формалізований математичний апарат термодинаміки;
- смисловий зміст другого принципу набуває іншого забарвлення, часто далекого від класичних трактувань;
- з'являються нові залежності, що відображають зміст розглянутих нетермодинамічних систем;
- ентропія перестає бути властивістю системи і виступає її параметром;
- енергія такої системи набуває нових якостей. Це може бути потенціал, гроші, пасіонарність суспільства та ін.

Тому багато досліджень у цих областях, претендуючи на об'єктивність, в кращому випадку дають якісну картину, яка не завжди може відрізнитися точністю викладу, а іноді і його достовірністю.

Виникає питання. Як у цьому ключі можна розглядати системи утворення відходів у їх відношенні до термодинамічних процесів?

Виробничі системи відносяться, перш за все, до нерівноважних тому, що їх сутність полягає в наявності різноманітних градієнтів серед керуючих параметрів. Завдяки цьому відбувається цілеспрямований вплив на сировинні матеріали, при якому ми отримуємо зовсім інші предмети. Частина з них представляє інтерес для їх творця, людини, це продукція, а частина виявляється непотрібною, це відхід. У незамкнених виробничих системах, що відповідають за отримання відходів, проявляються якості незворотності, з'являються умови для балансу між рівновагою і нерівновагою в окремих частинах системи. Тобто термодинамічна основа в системах виробництва корисних продуктів об'єктивно присутня. Найчастіше існуючі системи виробництва засновані на тепловій, механічній або електричній енергії, часто це енергія фізико-хімічних процесів. Звичайно, використовуються і багато інших джерел енергії. Ми назвали лише найбільш типові з них. Такі системи виявляються дуже пристосованими до основних правил термодинаміки.

Історичні корені другого закону термодинаміки відносяться до енергетичних процесів, які використовувалися в багатьох виробничих системах і відносилися до способів перетворення теплової енергії в рух. Це, насамперед теплові машини Карно. Сама формула теореми Карно передбачає, що в основі будь-якого теплового впливу лежить різниця температур, що відображає енергетичну динаміку процесу, а значить, співвідношення корисної і марно втраченої енергії, яка бере участь в отриманні корисного продукту і появи відходів, і є основою будь-якого технологічного процесу. Така поведінка будь-якої виробничої системи показує її зв'язок з нерівновагою, незворотністю і динамічністю, що є суттю другого закону термодинаміки для відкритих систем.

Тому питання застосування другого закону термодинаміки до процесів утворення відходів, незалежно від їх сутності, існує як об'єктивна реальність і є актуальним.

6.2. Вплив умов термодинамічної нерівноважності виробничої системи на процеси утворення відходів

Термодинамічні процеси в широкому сенсі можна розділити на три нерівні області. До першої групи відноситься невелика група ідеальних процесів, для яких основною відмінністю є рівновага в замкнених системах і прагнення до максимальної ентропії. У розвитку ідей Ларса Онзагера [17, 18, 19] з'явилася теорія лінійної термодинаміки, об'єктом якої є системи, що знаходяться в області крайніх меж рівноваги, так звані слабо нерівноважні термодинамічні системи. До них відносяться системи, де термодинамічно нерівноважна взаємодія

невелика і матеріальні потоки лінійно залежать від термодинамічних сил, які їх породжують. До третьої групи, яка вивчається нелінійною термодинамікою [17], відносяться сильно нерівноважні термодинамічні процеси. Їх головна особливість — чітка нелінійна залежність матеріальних потоків від сил, які їх породжують, і прагнення до самоорганізації, мінімуму дисипації.

В основі макроскопічного розрахунку отримання ентропії для слабо нерівноважних систем лежить умова, при якій в нескінченно малому обсязі виробничого середовища в будь-який даний момент часу підтримується стан локальної рівноваги. При цьому ентропію і її похідні можна розглядати як функції тих же локальних змінних, що і для рівноважної системи. І. Р. Пригожин показує, що такі відносини мають право на існування і припущення про локальну рівновагу буде доречним, зокрема, для явищ перенесення щодо не дуже швидких хімічних реакцій, підкреслюючи роль дисипативних процесів навіть у таких нерівноважних, але близьких до рівноваги системах. І не тільки.

Розглянемо структуру рівняння ентропійного балансу [20, 21]. Щоб вивести його, використовується рівняння Гіббса для повного диференціала ентропії на

одиницю маси $T \delta S = \delta e + \rho \delta v - \sum_{\gamma} \mu_{\gamma} \frac{dN_{\gamma}}{dt}$. Вихідними даними є рівняння ба-

лансу маси в його класичному вигляді $\sum_{\gamma=1}^n \sum_{\rho=1}^r n_{\gamma\rho} M_{\gamma} w_{\rho} = \sigma[M] = 0$ і рівняння ба-

лансу внутрішньої енергії процесу $\sum_{\gamma=1}^n F_{\gamma i} \rho_{\gamma} \Delta_{\gamma i} - P_{ij} v_{ij} = \partial_i(\rho e) + [W_j + \rho e v_j]$

. Тут $\gamma = 1, 1, n$ — кількість компонентів виробничого середовища (під цим показником можна розглядати не тільки узагальнені матеріальні та енергетичні складові системи, але і деякі інші їх складові в залежності від поставлених завдань, про що буде показано нижче); μ_{γ} — значення хімічного потенціалу кожного компонента на одиницю маси; N_{γ} — масова концентрація компонента γ ; v_{γ} — макроскопічна швидкість передачі компонента γ ; ρ_{γ} — парціальна щільність компонента γ ; M_{γ} — молярна маса компонента γ ; M_{γ} — дифузійний потік компонента γ ; F_i — складова зовнішнього зусилля на одиницю маси; P_i — складова тензора тиску зовнішньої сили на одиницю маси; w — швидкість хімічної реакції в молях в одиницю часу; e — щільність енергії на одиницю маси.

Без загального висновку напишемо вираз для розрахунку отримання зміни ентропії в таких системах:

$$\sigma[S] = \frac{W_j}{T_j} - \sum_{\gamma} (\rho_{\gamma} \Delta_{\gamma}) \left[\left(\frac{\mu_{\gamma}}{T} \right)_{j'} - \frac{F_{\gamma j}}{T} \right] - \frac{P_{ij}}{T} n_{ij} + \sum_{\gamma} \frac{w_{\rho} A_{\rho}}{T} \geq 0. \quad (6,1)$$

Рівняння ентропійного балансу можна записати в такий спосіб:

$$\sigma[S] = \frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \operatorname{div} J \geq 0. \quad (6.2)$$

Тут $\sigma[S]$ — виробництво ентропії на одиницю часу і на одиницю об'єму (силова характеристика для джерела ентропії); $J = \frac{W}{T} - \sum_{\gamma} (\rho_{\gamma} \Delta_{\gamma}) \left(\frac{\mu_{\gamma}}{T}\right) + \rho s v$ —

потік ентропії в слабо нерівноважній системі. Баланс зміни ентропії в слабо нерівноважній системі стає можливим тому, що поділ ентропії на потік і силу дозволяє стверджувати про керованість виробництва ентропії та її мінімізацію.

Для порівняння напишемо рівняння балансу, отримане в [17] для надлишкової ентропії при малих збуреннях для сильно нерівноважних систем.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial[\delta^2(\rho z)]}{\partial t} = \sigma[\delta Z] - \\ - \left\{ \frac{\delta W_j}{\delta T} + v_j \delta^2(\rho s) - \sum_{\gamma} \delta(\rho_{\gamma} \Delta_{\gamma j}) \delta\left(\frac{\mu_{\gamma}}{T}\right) - \frac{1}{T} [\delta P_{ij} \delta v_i + \frac{1}{2} \rho v_j (\delta v)^2] \right\}. \end{aligned} \quad (6.3)$$

Джерело сили, що викликає надлишок ентропії в сильно нерівноважній системі, задається виразом

$$\begin{aligned} \sigma(\delta Z) = \delta \sum_{\alpha} X_{\alpha} T_{\alpha} - \frac{1}{T} [\delta(\rho e) \delta v_j + \delta P_{ij} \delta v_i + \frac{1}{2} \rho v_j (\delta v)^2] - \\ - \sum_{\gamma} \delta \rho_{\gamma} \delta v_j \left[\frac{F_{\gamma j}}{T} - \left(\frac{\mu_{\gamma}}{T}\right)_j \right] - \left[\frac{\delta P_{ij}}{\delta T} - \frac{\delta(\rho v_j) \delta v_i}{T} \right] v_{ij} + \\ + \frac{1}{2} \frac{(\delta v)^2 (\rho v)_j}{T} + \left[\frac{\delta(\rho e)}{\delta T} - \sum_{\gamma} \delta \rho_{\gamma} \delta \left(\frac{\mu_{\gamma}}{T}\right)_j \right] v_j. \end{aligned} \quad (6.4)$$

При цьому відношення $\delta^2 Z < 0$ і $\frac{\partial(\delta^2 Z)}{\partial t} \geq 0$ відображають загальну і достатню умови термодинамічної стійкості щодо явно нерівноважної системи. Таким чином, показано взаємозв'язок між джерелом надлишкової ентропії і показником термодинамічної стійкості системи.

Розглянемо докладніше, як термодинамічну систему, певний виробничий процес, пов'язаний з технологією отримання корисної продукції і одночасним формуванням певної номенклатури відходів. Зауважимо відразу, що наша система не замкнута, вона може відноситися до термодинамічно нерівноважних систем із різним ступенем нерівноважності. Іншими словами, в реальній системі можна очікувати як лінійних, так і нелінійних термодинамічних процесів.

Ми маємо право розглядати виробництво, його технологію як один із способів організації системи отримання товарної продукції з урахуванням диси-

пативних механізмів. Будь-який технологічний процес можна представити у вигляді організованої людиною впорядкованої послідовності певних фізичних, хімічних та інших явищ, здійснюваних за допомогою штучно створених технічних систем, в результаті чого здійснюється організоване перетворення частини сировини в продукцію за задалегідь визначеною властивістю. Але в той же час продукція — це результат впорядкованих дій із задалегідь заданим результатом і мінімумом витрат, в тому числі енергетичних. Відходи ж виробництва можуть бути отримані в результаті невпорядкованого впливу одних і тих же явищ і тієї ж технічної системи на другу частину сировини на умовах, не передбачених цією технологією. Теза вірна: виробництво тільки для продукції; виробництво не для відходів.

Це означає, що виробництво корисної продукції, як організована складова ефективності системи, пов'язане з функціонуванням тієї її частини, яка повинна володіти властивостями сильної нерівноважності. Ця частина системи має здатність досягати певного мінімуму ентропії. І навпаки, та частина системи, яка відповідає за отримання відходів (це неорганізована частина результативності системи), є менш впорядкованою, має тенденцію до збільшення ентропії і має властивості слабкої нерівноважності.

Тут можна говорити про властивість термодинамічної двоєдності виробничої системи. Коли виробнича система по відношенню до певної частини компонентів сировини, проявляє себе як сильно нерівноважна система і функціонує за законами нелінійної динаміки, і в той же час, по відношенню до іншої частини сировини проявляє себе як слабо нерівноважна і підпорядковується законам лінійної термодинаміки. Перша частина відноситься до отримання корисної продукції, а друга частина — до появи відходу. Доведемо це.

Для такої термодинамічної двоєдності виробництва продукції та відходів маємо право відзначити наявність накладання цих двох, найчастіше стаціонарних, але незворотних процесів (рис. 6.1). Це положення повністю узгоджується з третім законом енергоентропії [21], який показує, що ентропія відкритих систем може зменшуватися за рахунок споживання енергії від зовнішніх джерел і її перерозподілу між системою і зовнішньою системою на користь першої. Такий висновок випливає і з досліджень у квантовій механіці, зокрема, з теорії запутаності, як альтернативи імовірнісним методам у термодинаміці [11], але він доведений тільки на мікрорівні.

У цьому сенсі виробництво продукції пов'язане зі стабільно передбачуваною поведінкою системи, що прагне до максимально низького рівня активності, сумісного з потоками поставок сировини. Виробництво може виступати як двоєдина система, що має відмінні властивості для перетворення сировини в готову продукцію і для отримання відходів. Основні відмінності, що відображають цю подвійність виробничої системи, наведені в табл. 6.2.

Виробничу систему функціонально можна розділити на дві взаємодоповнюючі складові. Ідеологія першої з них сформульована так: щось потрібно

перетворити необхідним чином, щоб отримати заплановане. Це повинен бути готовий продукт, для якого і створювався цей процес. Ідеологія другої складової виражається таким чином: щось можна отримати без заданої програми, оскільки виходить довільно в умовах існуючої технології. Це буде відхід.

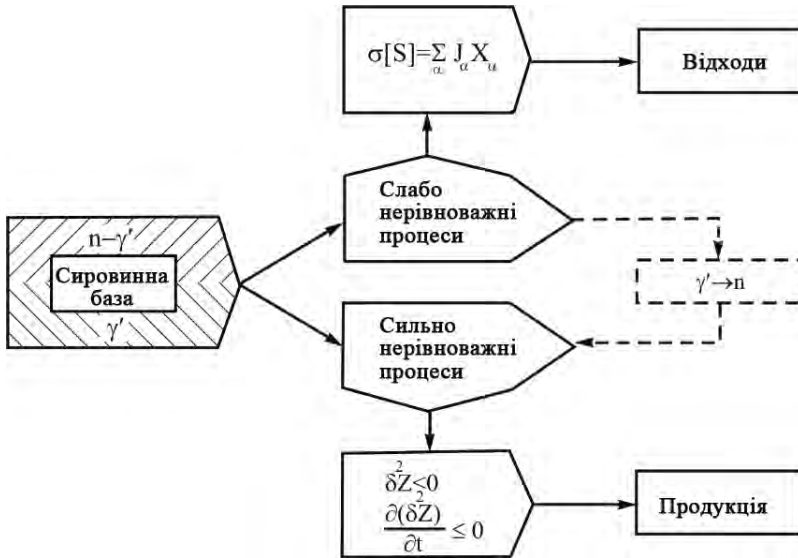


Рисунок 6.1 – Схема реалізації термодинамічної д্বоедності у виробничій системі

Напрошується закономірний висновок. Якщо ми прагнемо до теоретичного мінімуму відходів, то для його отримання система в тій її частині, яка здійснює утворення відходів, також повинна прагнути до істотного порушення термодинамічної рівноваги.

Звернемо увагу на те, що будь-який технологічний процес, будучи нерівноважним, найчастіше знаходиться в стані стаціонарності по відношенню до матеріальних потоків. Таку систему можна описати наступним чином. Якщо в складі сировини, що використовується в системі, є $\gamma = 1, 1, n$ компонентів, з яких γ' беруть участь у виробництві корисних продуктів, то частина компонентів, що залишилася, бере участь у виробництві відходів.

Це означає, що деякий $(n - \gamma')$ -й компонент сировини надходить у систему із зовнішнього середовища і після відповідних впливів і перетворень переходить у стан відходу і знову повертається в зовнішнє середовище. Стаціонарний стан з'являється у тому разі, якщо потік через другу групу компонентів не змінюється з плином часу. Така умова пов'язана з дотриманням певних зв'язків між швидкостями основних реакцій, взаємодій та інших процесів.

Тут доречно розглянути умови реалізації теореми про мінімальну продукцію ентропії в слабо нерівноважних системах [23, 24].

Таблиця 6.2 – Відмінні термодинамічні властивості системи щодо її виробничих показників (згідно з [22])

Виробництво продукції	Отримання відходу
1	2
Область досліджень описується законами нерівноважної термодинаміки. Сильно нерівноважна система	Область дослідження описується законами лінійної нерівноважної термодинаміки. Слабо нерівноважна система
Матеріальний потік — це частково організована частина компонентів сировинної бази	Матеріальний потік — це неорганізована частина компонентів сировини
При виробництві продукції система повинна знаходитися в області сильно нерівноважного термодинамічного стану	Приймаючи відходи, система (або її частина, яка відповідає за формування відходу) повинна перебувати в слабо нерівноважному стані з мінімумом дисипації, що описується законами лінійної термодинаміки
Відсутність дисипативних структур як джерело самоорганізації системи	Виробництво ентропії, сумісне з граничними умовами, що накладаються на систему в напрямку її рівноважного стану
Порушується тенденція до «забування» початкових умов. Система не поспішає до загального вирівнювання властивостей у власній структурі	Система «забуває» початкові умови і залежить від граничних умов існування
Стабільність і передбачуваність поведінки системи сумісні з потоками сировини	Зовнішня залежність поведінки системи. Поведінка системи, яка несумісна з частиною сировинного потоку, призводить до її відторгнення
Залежність виробництва ентропії від часу. У сильно нерівноважній системі потік енергії або матеріалу, що поступає із зовнішнього середовища і змінюється з часом, визначає негативний потік ентропії dS_e , який компенсується виробництвом ентропії dS_i за рахунок незворотних процесів всередині системи ($dS_e = -dS_i < 0$). Негативний потік dS_e означає, що в цьому випадку система переміщає ентропію в зовнішнє середовище. Це означає, що в стаціонарному стані активність системи сприяє безперервному збільшенню ентропії в зовнішньому середовищі	Ентропія не залежить від часу. $dS = dS_e + dS_i = 0$. У слабо нерівноважній стаціонарній системі розуміється інваріантність матеріальних потоків у часі. Виробництво ентропії існує лише в обмеженій області порушення рівноваги. Особливість полягає в тому, що при виробництві відходів система здатна тривалий час перебувати в слабо нерівноважному стані і бути там досить стійкою

Закінчення таблиці 6.2

1	2
Стаціонарний стан неоднозначно реагує на різноманітність флуктуацій, створюваних системою або зовнішнім середовищем	Стаціонарний стан системи апіорі є слабо нерівноважним. Система розташована в області крайніх меж рівноважності
Збільшення ентропії зовнішнього середовища настільки незначне, наскільки дозволяють граничні умови, що накладаються на систему. Тобто це умови конкретного технологічного процесу або інші способи організації системи (принцип мінімального зростання ентропії)	Дисипативні процеси розвиваються в міру наближення системи до стану рівноваги

Підсумовуючи термодинамічні сили X_α і потоки J_α в слабо нерівноважних системах, кінцеве виробництво ентропії можна записати як

$$\sigma[S] = \sum_{\alpha} J_{\alpha} X_{\alpha} . \quad (6.5)$$

Тут і в подальших дослідженнях під термодинамічними силами X_α слід розуміти одну з наступних похідних від силових параметрів, що відносяться до конкретної технічної системи:

- швидкість хімічної реакції;
- сила електричного струму;
- швидкість передачі електричних зарядів;
- швидкість масообміну;
- швидкість дифузії;
- швидкість руху рідкого або газоподібного середовища;
- швидкість переміщення матеріальної точки;
- швидкість горіння;
- швидкість фазових перетворень або переходів і т. д.

Причому співвідношення між силами і потоками повинно бути лінійним за допомогою феноменологічних коефіцієнтів L_{ij} таким чином, щоб

$$J_i = \sum_j L_{ij} X_j .$$

Для найбільш загального випадку, коли відбувається передача

речовини (m) і енергії (e) в матеріальних потоках (J) за допомогою сил (X), які їх створюють, локальне виробництво ентропії можна представити таким чином:

$$\sigma[S] = J_m X_m + J_e X_e > 0 . \quad (6.6)$$

У цьому випадку феноменологічні рівняння Онзагера такі:

$$J_m = L_{mm} X_m + L_{me} X_e = 0, \quad (6.7)$$

$$J_e = L_{em} X_m + L_{ee} X_e. \quad (6.8)$$

Перше співвідношення приймається рівним нулю, виходячи з умов, що в стаціонарній нерівноважній системі немає потоку речовини. Далі, беручи до уваги теорему взаємності Онзагера, згідно з якою $L_{me} = L_{em}$, висловлюємо

$$\sigma[S] = L_{mm} X_m^2 + 2L_{me} X_m X_e + L_{ee} X_e^2. \quad (6.9)$$

Перша похідна виразу (6.9) по X_m при незмінному значенні X_e дає вираз

$$\frac{\partial(\sigma[S])}{\partial X_m} = 2(L_{me} X_e + L_{mm} X_m) = 2J_m = 0. \quad (6.10)$$

Таким чином, для цих відносин вирази (6.7) і (6.10) абсолютно рівнозначні.

Додатково звернемося до відомої S -теореми Ю. Л. Климонтовича. Сенс її полягає в тому, що при поступовому виведенні системи з умовно прийнятими нульовими керуючими параметрами з рівноважного стану, в разі подальшої зміни цих параметрів від нульового значення, ентропія системи, що приведена до заданого значення середньої енергії, зменшується. Це означає, що така система змінюється в бік більшої організації. Мабуть, правильно буде сказати, що більш організована система готова надати більш організований результат (наприклад, виробляти кращу продукцію) або надавати менш дезорганізований результат. Такий результат також можна віднести до зниження втрат (відходів) системи.

Закономірне питання: чи можна знайти умови, при яких система забезпечить теоретично виправданий мінімум відходів? І від чого буде залежати цей теоретичний мінімум?

Звичайно, для системи відходоутворюючого виробництва необхідною умовою теоретичного мінімуму відходів за формулою (6.4) є співвідношення $\sigma[\delta Z] = 0$, при якому надлишкова ентропія в балансі (6,3) не збільшується, тобто

$$\begin{aligned} \delta \sum_{\alpha} X_{\alpha} T_{\alpha} + \left[\frac{\delta(\rho e)}{\delta T} - \sum_{\gamma} \delta \rho_{\gamma} \delta \left(\frac{\mu_{\gamma}}{T} \right)_j \right] v_j = \frac{\delta v_j}{T} [\delta(\rho e) + \delta P_{ij}] + \\ + \frac{1}{T} \sum_{\gamma} \delta \rho_{\gamma} \delta v_j [F_{\gamma j} - \mu_{\gamma j}] + \left[\frac{\delta P_{ij}}{\delta T} - \frac{\delta(\rho v_j) \delta v_i}{T} \right] v_{ij}. \end{aligned} \quad (6.11)$$

Для зручності аналізу видалимо доданки з подвійним прирощуванням як нескінченно малі, і помножимо кожен з решти доданків на δT . Отриманий вираз

$$\delta(\rho e) = \delta P_{ij} \frac{v_{ij}}{v_i} \quad (6.12)$$

дає можливість, у найзагальніших рисах, оцінити, мабуть, одну з окремих умов досяжності мінімуму ентропії для виробничої системи з урахуванням властивості її двоєдності. Вона заснована на рівності джерел сил для збільшення надлишку ентропії в неізолюваній сильно нерівноважній системі. Справа — нескінченно малий приріст тензора тиску в напрямку вектору прикладання сили ij , а зліва — нескінченно малий приріст джерела щільності енергії на одиницю маси, але в напрямку вектору i . Враховуючи, що виробництво продукції, як організований процес, у сильно нерівноважній системі створює мінімально можливий приріст ентропії, припустимо умову, що все інше збільшення надлишкової ентропії в такій термодинамічно двоєдиній системі пов'язане саме з виробництвом відходів. Тому вираз (6.12) можна застосувати для оцінки теоретичного мінімуму утворення відходів у виробничій системі.

Важливим висновком тут є те, що ця умова виконується тільки при незмінних потоках (їх немає у формулі приросту), а тому має проявлятися тільки в стаціонарних виробничих системах. При цьому умова $v_i = \text{const}$ повинна бути дотриманою. Зміна напрямку джерела сил у системі виконується тільки відповідно до напрямку вільного вектору j відповідного тензора. Тому змінною величиною, яка впливає на мінімум утворення відходів, тут також можна вважати вектор швидкості збільшення тиску, як джерело динамічної сили в напрямку вільного вектору. Тому, функція $\delta(\rho e) = f(\delta P_j, v_j)$ справедлива. Оскільки баланс надлишкової ентропії можна визначити тільки для умов динамічної рівноваги в діапазоні малих приростів δ , тому умова (6.12) може бути окремим рішенням задачі знаходження мінімуму утворення відходів.

На практиці ми часто маємо справу з потоками, які визначаються лінійними залежностями. Однак при цьому тільки частина існуючих у системі сил (X'_i) пов'язана з сильним порушенням рівноваги, тобто з виробництвом корисних продуктів. Частина інших сил (позначається як X''_j), які пов'язані з лінійними процесами поблизу стану рівноваги, відноситься до перетворення того компонента структури сировини, який направляється в відходи. Спробуємо ввести в вираз для виробництва ентропії, яке, по суті, є інваріантним для фізичних явищ, ваговий коефіцієнт $\lambda = \frac{X'_i}{X_i}$ незалежно від індексу. В цей же час

отримуємо $1 - \lambda = \frac{X''_j}{X_j}$. Тоді маємо

$$\sigma[S] = \sum_i J_i X_i = \sum_{ij} L_{ij} X'_i X''_j = \lambda(1-\lambda) \sum_{ij} L_{ij} X_i X_j \quad (6.13)$$

І співвідношення $\frac{\partial(\sigma[S])}{\partial X} = 0$ також фактично повторює вираз (6,10). З

усього вищесказаного випливає, що якщо система утворення відходів виробництва не має додаткових обмежень, то вона прагне мінімізувати зростання ентропії за умови створення механізмів відхилення системи в бік сильної нерівноваги. Чим більше значення вагової функції λ , тим далі від рівноважного стану знаходиться система. Суть умови підвищення вагової функції λ полягає в тому, що системі потрібні додаткові активні сили X' , які б привели відповідні $(n-\gamma')$ -ті компоненти сировинної бази в корисний стан.

Звідси випливає один цікавий висновок, який пов'язаний з мінімізацією утворення відходів у джерелі їх виникнення [9]. Він звучить наступним чином.

Різноманіття термодинамічних сил, що беруть участь у перетворенні матеріальних потоків всередині виробничої системи, має бути спрямоване не тільки на перетворення обраних компонентів в корисні продукти. Структура цих сил повинна бути розрахована на перетворення всього спектру сировинних компонентів у корисні продукти.

Іншими словами, умова $X'_i \rightarrow X_i$ або $X''_j \rightarrow 0$ при $\gamma' \rightarrow n$ повинна виконуватися (див. рис. 6.1), що сприяє переходу всієї системи до край нерівноважного стану з відповідними наслідками для її вищої організації. Дійсно, крива (назвемо її феноменологічною, за назвою коефіцієнтів $L_{ij} = L_{ji}$), що відображає співвідношення сил, які забезпечують виробництво корисних продуктів і відходів (6.2) стосовно до виробництва ентропії в системі, дає деяке уявлення про власну область із теоретично досяжними мінімальними втратами сировини у вигляді відходів. Цей мінімум знаходиться в безпосередній близькості від точки $|\sigma[S] = 0; \lambda = 1|$. Причому інтегральна область $\int_{\lambda} \sigma[S] d\lambda$

залежить від розміру тензорної матриці $\sum_{ij} L_{ij} X_i X_j$. Чим більший цей показ-

ник, тим більша інтегральна складова феноменологічної кривої і, відповідно, більший розмір теоретично досяжного термодинамічного мінімуму відходів у системі. Якщо прийняти умову, за якої вільний показник тензора $j \leq 3$, то при значенні $\lambda = 0,5$ максимальне значення виробництва повної ентропії в системі залежить тільки від феноменологічних коефіцієнтів $L_{ij} = L_{ji} = L_j$ і не залежить від джерела сили X_i (формула 6.13). Тому співвідношення

$\sigma[S]_{\lambda=0,5} = 0,25 k_i \sum_{j=1}^3 L_j X_j$ справедливе, що дозволяє говорити про такі криві

як феноменологічні і значно спрощує їх розрахунок. Безперечно, з трьох феноменологічних кривих нам краще аналізувати ту, для якої виконується умова максимальної ентропії — ($X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq 0$). Всі інші випадки, коли одне або кілька джерел сил, що сприяють розвитку дисипативних процесів, дорівнюють нулю, є неповними.

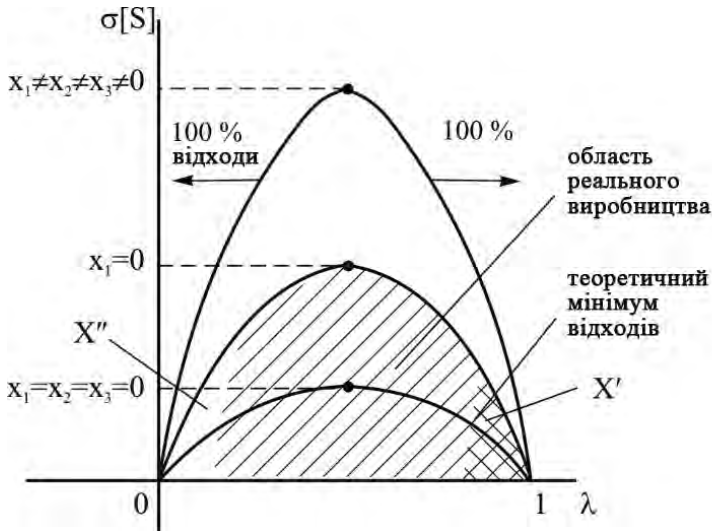


Рисунок 6.2 – Феноменологічна крива та її передбачувана площа теоретично мінімального утворення відходів у виробничій системі, до якої належить крива

Таким чином, щоб забезпечити мінімізацію відходів, ми повинні наполягати на кардинальних змінах структури існуючих технологій. В їх основі повинні лежати такі технологічні прийоми і такі джерела енергії, які дозволяли б змінювати весь спектр компонентів використовуваної сировини необхідним чином. Немає сумнівів, що значний запас тут — ретельний відбір сировини або її попередня підготовка.

Спробуємо підійти до цього питання з іншого боку.

При цьому має бути розуміння того, якими властивостями має володіти система, що призначена для виробництва корисних продуктів. Ми знову постулюємо, що, не знаючи механізмів функціонування системи, її властивостей, контролювати її неможливо.

Зокрема, відомо, що співвідношення типу «*r&w*», «*відходи-продукція*» у виробничих системах, як правило, далекі від нерегульованого хаотичного стану, проте містять в собі зачатки хаотичної динаміки. І для того, щоб зрозуміти термодинаміку утворення відходів, ми повинні використовувати принципи біфуркації і послідовного хаосу щодо таких систем. Повернемося до рівняння (6.13) і запишемо його в наступному вигляді

$$\sigma[S] = \lambda(1-\lambda) \sum_{ij} L_{ij} X_j X_j = k\lambda(1-\lambda) \quad (6.14)$$

Ми прийшли до найпростішого логістичного рівняння, докладно описаного в роботі Роберта Мея в 1976 році [26], яке при послідовності обчислень залежності $\sigma[S] = f(k\lambda)$, що відображає динаміку процесів, призводить до відомих графіків (див. рис. 6.2). Якщо брати до уваги систему «р&w», «виробництво-відходи», то перший множник ($k\lambda$) відображає збільшення продуктивності виробничої системи пропорційно коефіцієнту (k), а другий ($1-\lambda$) відображає обмеження, пов'язане зі станом сировинної бази, а саме, з відторгненням окремих компонентів сировини, що накладається енергією, використовуваною в технологічному процесі, а також станом технічної системи. Залежність від потужності виробництва, тобто отримання корисних продуктів, $\sigma[S] = f(k)$ при багатократних рішеннях рівняння може привести нас до простого подвоєння результату, тобто до біфуркації, і теоретично це подвоєння може повторюватися багато разів [27]. Тоді будь-яка система, що забезпечує виробництво корисних продуктів і відходів, може потрапити під закономірності невизначених систем біфуркації, стикаючись із відомими положеннями теорії хаосу.

Нас не повинен бентежити той факт, що такі множинні біфуркації не проявляються в більшості відомих технологічних процесів. Це пов'язано з циклічністю в часі для переважної більшості технологічних процесів, а також зі спрощеним станом енергозабезпечення більшості подібних систем, в яких, як правило, використовується одне джерело енергії, що ускладнює процеси послідовного подвоєння результатів.

Саме якісний енергетичний дефіцит у технологічних процесах ми позиціонуємо як одну з найважливіших причин появи відходів в будь-якому технологічному процесі.

У теоретичному варіанті [26] при значеннях $0 < k < 1$ функція не змінюється; при збільшенні коефіцієнта приблизно до точки $k = 3,5$ ми бачимо збільшення значень функції, а зі збільшенням коефіцієнта до $k = 3,57$ відбувається варіантне подвоєння функції, тобто вона входить у стан біфуркації. Така поведінка функції (6.13) відома, але для наших технологічних систем, орієнтованих на отримання готової продукції і паралельних відходів, це не є очевидним.

Разом з тим. Як буде показано нижче на численних прикладах, такі залежності в першому наближенні мають право на існування в технологічних процесах. Відмінність від послідовних подвоєнь біфуркації в інших системах — економічній, соціальній — полягає в глибині часового проникнення цих біфуркацій. Це те, чого не може дати нам будь-який циклічний технологічний процес.

Аргументом тут можуть бути деякі властивості, характерні для систем біфуркації, які можна побачити в будь-якому технологічному процесі. Ми не

можемо стверджувати, що робимо абсолютно доведений меседж. Але безперервність і незворотність утворення відходів усіма технологічними системами світу, що призвело до сучасного стану забруднення навколишнього середовища, може бути доказом наявності хаосу якщо не в економічній світовій системі, то хоча б у технологіях масового виробництва корисної товарної продукції. Розвиток цієї сфери людської діяльності, якщо розглядати її з позиції масового утворення відходів, дозволяє позиціонувати ці процеси як хаотичні в цілому. Давайте розглянемо їх докладніше.

Значення коефіцієнта (k) в послідовності розглянутих у даній роботі технологій (глави 7, 8, 9, 10) визначаються значенням $\sigma[S]_{\max}$ при $\lambda \approx 0,5$ на феноменологічних кривих Л. Онзагера. Ці точки відзначені в координатах «зміна ентропії — ваговий коефіцієнт λ » для технологічних процесів: аглодоменного, коксового, сталеплавильного і феросплавного, порошкової обробки, при транспортно-логістичних операціях, у суміжних або допоміжних металургійних і енергетичних виробництвах, в технологіях виноробства і сироваріння, в будівельних технологіях, в нанотехнологіях поверхневих покриттів, в технологіях обробки (різання, механічна обробка) матеріалів, деяких агротехнологіях, в технологіях біологічного очищення, в технологіях переробки відходів, в тому числі побутових, при очищенні питної води і деяких інших. Дані досліджень залежностей $\sigma[S]=f(k)$ для найрізноманітніших технологій представлені на рис. 6.3 у вигляді окремих точок початкових значень зміни ентропії. З урахуванням похибок, отриманих при обробці експериментальних даних, цифри на графіку в області подвоєння результатів можуть бути приблизно порівнянні з закономірностями, викладеними в [27].

За період першого подвоєння на графіку (див. рис. 6.3) запишемо наступне співвідношення:

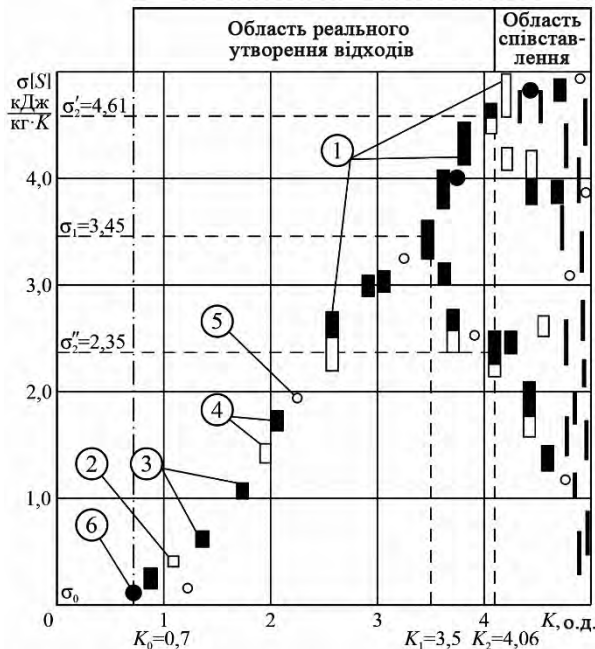
$$Fe_k = \frac{k_1 - k_0}{k_2 - k_1} = \frac{3,45 - 0,71}{4,06 - 3,45} = 4,49,$$

яке в період першого подвоєння порівнянне з першою константою Фейгенбаума для рівняння типу (6.14), що умовно позначена тут як Fe_k і дорівнює 4,669. Похибка з експериментальними даними склала 3,98 %, що цілком задовільно. У свою чергу, співвідношення, отримане з графіка, умовно позначене як

$$Fe_\sigma = \frac{\sigma_1[S] - \sigma_0[S]}{\sigma_2[S] - \sigma_1[S]}; \quad Fe_\sigma = \frac{3,45 - 0,01}{4,61 - 3,45} = 2,96; \quad Fe_\sigma = \frac{3,45 - 0,01}{3,45 - 2,35} = 3,127;$$

з певною похибкою можна порівняти зі значенням другої константи Фейгенбаума Fe_σ , що дорівнює 2,503. Похибка в даному випадку знаходиться в діапазоні 18,26 ÷ 24,9 %, що є слабо порівнянним результатом у співвідношенні з теоретичними даними. Слід припустити, що якби можна було розглянути

процедури наступних подвоєнь біфуркації в багатоциклових технологічних процесах, то можна було б отримати більш точні значення констант Фейгенбаума, які досить достовірно характеризують властивості системи, в області біфуркаційних і організованих хаотичностей [26]. Проте отримані значення для таких властивостей систем, як Fe_k та Fe_σ , показують, що об'єкти нашого дослідження можуть потрапляти під картину невизначеності систем біфуркації. Можна припустити, що саме такі механізми хаосу, пов'язані з різноманіттям довільності, присутні в будь-якому технологічному процесі, побічно призводять до лавиноподібних у часі процесів виробництва відходів, які ми спостерігаємо. Та поки що ніхто не взявся справлятися з такою кількістю накопичених промислових відходів. У кращому випадку переробці підлягають тільки знову отримані промислові відходи. Цей стан, дуже далекий від сталого та системного, більше схожий на хаос.



1 — металургічні технології; 2 — рослинництво; 3 — технології будівництва;
4 — обробка матеріалів; 5 — харчові технології; 6 — переробка відходів

Рисунок 6.3 – Розрахункові дані для отримання ентропії в рівнянні Л. Онзагера для різних технологічних процесів

Давайте підійдемо до цього питання з іншого боку.

Розглянемо в сукупності функцію розвитку похідної системи як $F(x) = f(x) + \varphi(x)$, де частина $f(x)$ відповідає виробництву корисної речовини («прибуток», за І. Пригожиным [22, 28]), а $-\varphi(x)$ — функція, що відпові-

дає за відтік речовини з системи (відхід). Кожен із цих компонентів може бути позитивним або дорівнювати нулю. Для такої залежності справедливе ставлення $\frac{dx}{dt} = F(x)$. За умови $f(x) = -\varphi(x)$ точки перетину цих двох графіків повинні відповідати стаціонарним станам системи. Якщо така стаціонарність визначається лінійними залежностями $f(x)$ і $-\varphi(x)$, то система має тільки один сталий стан на перетині цих функцій. В іншому випадку слід говорити про неоднозначну стаціонарність системи (формула (6.13)). В останньому випадку можливі чотири варіанти стабільності стаціонарного стану системи. У першому випадку (позначимо його $S1$) рівноважна стійкість зберігається тільки при наявності відносно негативних коливань графіків $f(x)$ і $-\varphi(x)$. У другому випадку ($S2$) збереження рівноважної стійкості забезпечується як відносно позитивними, так і відносно негативними коливаннями. У третьому випадку ($S3$) це стосується тільки відносно позитивних коливань, а в четвертому випадку ($S4$) стійкість рівноваги недосяжна при будь-яких зовнішніх коливаннях.

В цьому випадку нас буде цікавити напрямок руху виробничого процесу або в бік отримання «прибутку», або в бік «відтоку» речовини з системи. Очевидно, що цей напрямок буде залежати від умов рівноваги для реакцій, що протікають у системі, і буде визначати суму речовин, корисно перетворених і марно відкинутих цією системою.

Цей підхід може бути більш узагальненим для отримання інформації про теоретичний мінімум утворення відходів порівняно з формулою (6.12). Розглянемо його докладніше.

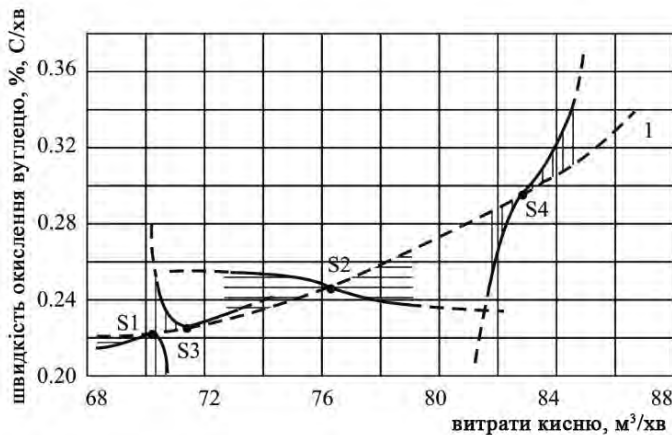
Як приклад функції розвитку $F(x) = f(x) + \varphi(x)$ процесу виробництва сталі в кисневому конвертері візьмемо залежність вмісту вуглецю в металі від інтенсивності подачі кисню в конвертер. Тут складова $f(x)$ повинна відповідати виробництву корисного продукту у вигляді сталі з низьким вмістом вуглецю, а $-\varphi(x)$ — виробництву відходів у вигляді оксидів вуглецю і карбідів з газами і шлаками. Така залежність описана в літературі [29]. Ця функція містить як продуктивну складову, так і ту її частину, яка відторгається у вигляді втрат або відходів.

Зобразимо продуктивну частину, а саме рідкий метал, зі швидкістю горіння вуглецю у вигляді графіка 1 (рис. 6.4) на деякій області вихідних даних [29]. Вуглець при конвертерній плавці спочатку міститься в сировині — чавуні, ломі. У першому його більше (3,3–4,3%), у другому — менше (до 0,5%). Сама ідеологія киснево-конвертерної плавки полягає в максимальному (за технологією) «спалюванні» вуглецю з чавуну за допомогою кисневого дуття і доведенні складу металу до вмісту в ньому вуглецю в межах 0,1–0,6%, в залежності від марки сталі. При цьому залишковий вуглець разом із кисневмісними елементами розподіляється між газовою і рідкою фазами і втрачається. Велика

частина вуглецю разом із вихлопними газами у вигляді оксидів видаляється з конвертера. Це відхід. Певна частка разом із дрібними крапельками металу і шлаку виноситься з конвертера в повітря.

Очевидно, що обидві функції: і $f(x)$, і $-\varphi(x)$ — є нелінійними. Тому зрозуміло, що їх перетин з кривою 1 при різних режимах плавки дає повне різноманіття варіантів, при яких чи досягається, чи ні — термодинамічна рівновага між вуглецемістними матеріалами в корисних продуктах і в продуктах відторгнення.

Відразу відзначимо, що область на графіку (див. рис. 6.4), що відповідає околу точки $S2$, відноситься до стаціонарного стійкого, термодинамічно рівноважного стану, при якому будь-які зміни швидкості потоку кисню, спрямованого в зону реакції, не дають скільки-небудь істотного збільшення швидкості окислення вуглецю в зоні основної реакції. Можна сказати, що в районі точки $S2$ є стан, в якому $f(x) = \text{const}$ і $\varphi(x) = \text{const}$. На рис. 6.4 це ділянки з горизонтальним штрихуванням.



1 — швидкість окислення вуглецю в металі

Рисунок 6.4 – Область стійкості функції $F(x)$ для технології зневуглецювання конвертерної сталі

І навпаки, стан системи в околі точки $S4$ дуже мало відповідає стану стійкості і рівноважності. Навіть відносно невеликі зміни потоку кисню в зоні горіння призводять до значних змін швидкості горіння вуглецю, тобто отримання сталі. При цьому функція розвитку системи істотно залежить від споживання основних компонентів реакції і далека від стаціонарної. Ці ділянки позначені вертикальним штрихуванням.

І, нарешті, в околі точок $S1$ і $S3$ можна спостерігати стійкі рівноважні стани, що відносяться до витратної частини $\varphi(x)$ і тільки до дохідної частини системи $f(x)$ відповідно (горизонтальне штрихування на рис. 6.4). Дві інші

гілки графіків в околі точок $S1$ і $S3$ дають явно нерівноважні і нестійкі відносини між прибутковою і відпрацьованою частинами речовини, в даному випадку вуглецевмісні компоненти в металі — $f(x)$, шлаці і газовій фазі — $\varphi(x)$.

Для того щоб показати уніфікацію підходу, в якості наступних прикладів розглянемо роботу однотипних агрегатів для електродугової виплавки чавуну і алюмінію. Сумісні відповідні графіки залежності втрат (X'') у вигляді оксидів заліза (FeO) і оксидів алюмінію (Al_2O_3) від продуктивності відповідних вузлів плавки з феноменологічною кривою $\sigma[S] = f(\lambda)$ (рис. 6.5). Тут перша залежність опосередковується обчислювальною функцією в координатах $\lambda(P)$, де за параметр потужності системи приймаємо потужність системи (P , кг/год). Для таких графіків визначаються стаціонарні стани системи, стійкі як щодо негативних, так і щодо позитивних флуктуацій ($S4$). Ця сильно нерівноважна область з $0,85 < \lambda_{FeO}^{(T)} < 1$ і $0,91 < \lambda_{Al_2O_3}^{(T)} < 1$, відповідно, може визначати теоретичний рівень мінімального утворення відходів з пилу відповідних оксидів.

Більш того, в залежності від співвідношення сил і потоків ($\sum_i J_i X_i$) в рівнянні (6.13) можна отримати граничні параметричні криві $\sigma[S]_{FeO}$ і $\sigma[S]_{Al_2O_3}$, наприклад, при $X_1 = X_2 = 0$ та при $X_1 = 0$ відповідно, для яких визначаються їх точки $S3_{FeO}$ і $S3_{Al_2O_3}$, також відповідно. В їх околі стабільність стаціонарного стану гарантується лише щодо, наприклад, позитивних флуктуацій. В даному випадку ми маємо реальний рівень утворення відходів $0,34 < \lambda_{FeO}^{(\Phi)} < 1$ і, $0,61 < \lambda_{Al_2O_3}^{(\Phi)} < 1$ відповідно.

У перерахунку до параметру $X'' = (1 - \lambda)X$ отримуємо, що фактичний рівень утворення відходів в $(1 - 0,34)/(1 - 0,85) = 4,4$ рази перевищує теоретично можливий мінімум для системи плавлення для залізоокисного пилу і в $(1 - 0,61)/(1 - 0,91) = 4,33$ рази перевищує мінімальне утворення відходів для пилу оксиду алюмінію.

Маючи реальний рівень утворення відходів для пилу оксидів заліза в межах $0,79 \div 1$, 26 г/кг розплаву заліза [30], можна прогнозувати його мінімальний рівень у межах $0,179 \div 0,288$ г/кг. Для плавки алюмінію такий мінімум може бути в межах $0,06 \div 0,12$ г/кг розплаву алюмінію.

І ще один приклад. Технологія виробництва виробів методами порошкової металургії передбачає проведення процедур підготовки замісу на змішувачах типу КПМ 2.055.001, лопатевих змішувачах та ін., а також порошкове формування на пресах типів КА628, ДА-1523, ДА-1534 та ін. Спробуємо визначити співвідношення між фактичним і мінімальним утворенням відходів на цих виробництвах (рис. 6.6).

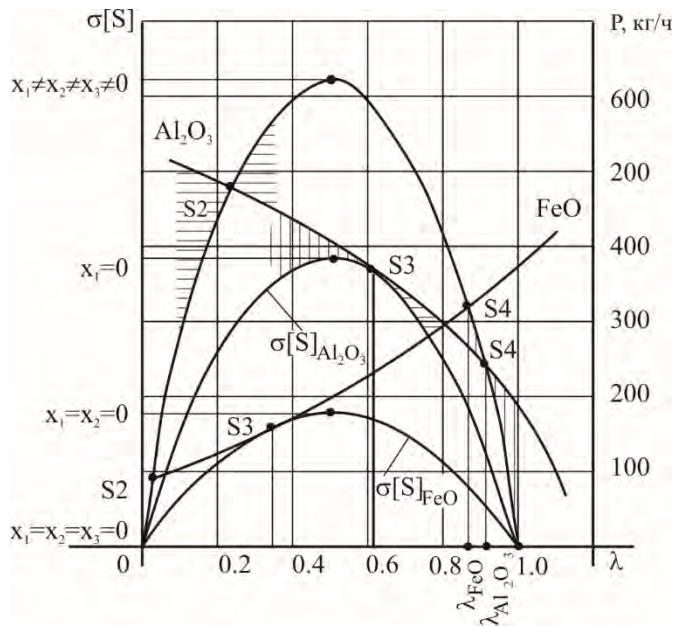
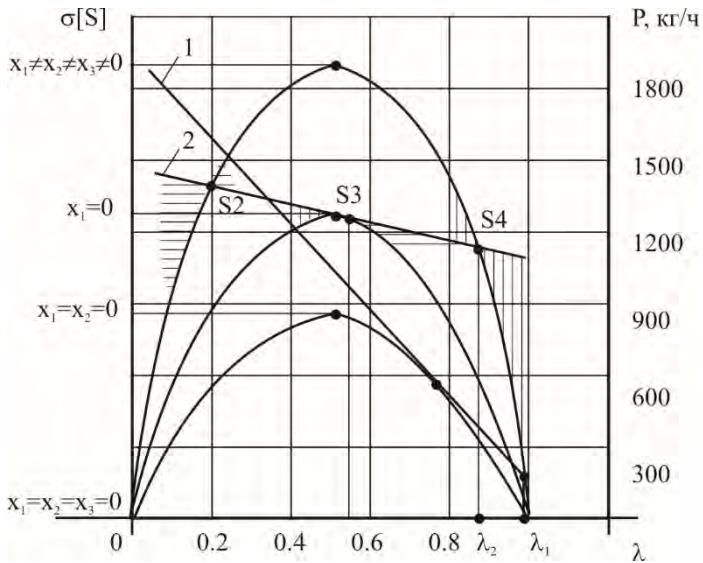


Рисунок 6.5 – Діаграма для розрахунку теоретичного мінімуму відходів утворення пилу оксидів заліза та оксидів алюмінію у виробничих системах при виплавці відповідних металів



1 – ділянка заготівлі замісу; 2 – ділянка формування

Рисунок 6.6 – Діаграма розрахунку теоретичного мінімуму металевого порошку в порошковій металургії

Якщо для приготування суміші фактичне пилоутворення досягає 87 г/год [30], і це відповідає значенню $\lambda = 0,74$, то теоретично обґрунтованому мінімальному рівню утворення відходів повинно відповідати значення $0,97 < \lambda < 1$. При цьому кількість металевого пилу не повинна перевищувати $87 \cdot (1 - 0,97) / (1 - 0,74) = 10$ для формувальної ділянки на пресах це значення не повинно перевищувати $630 \cdot (1 - 0,87) / (1 - 0,54) = 178$ для найбільш продуктивного преса. Тут 630 г/год відповідає максимальному рівню утворення відходів у вигляді металевого пилу при порошковому формуванні на пресі продуктивністю 1800 кг/год згідно з даними [30]. Для преса продуктивністю 120 кг/год цей показник не повинен перевищувати 11 г/год.

Можливі випадки, коли не вдається знайти теоретично обґрунтований мінімум утворення відходів шляхом розрахунку для окремих виробничих систем. Наприклад, такі розрахунки для технології виробництва друкованих плат у радіоелектронній промисловості дають наступний результат (рис. 6.7).

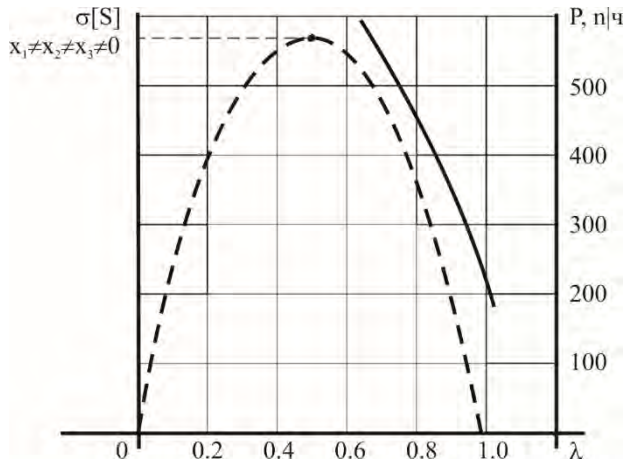


Рисунок 6.7 – Відсутність теоретично досяжного мінімуму утворення відходів у вигляді пилу при механічній обробці друкованих плат в радіоелектроніці

Крива виробництва ентропії для відходів при механічній обробці плит розташовується за межами розрахункової феноменологічної кривої, не маючи з нею спільних точок. Тут ми не знаходимо теоретично досяжного мінімуму утворення відходів, що свідчить про його можливу відсутність або інші, незрозумілі умови його отримання.

6.3. Сміслові значення умови термодинамічної нерівноважності в технологічних процесах

Очевидно, що відношення енергетичного впливу на різні компоненти сировини, що використовується в технологічному процесі, стає тим основним фактором, що визначає поділ сировини на «корисні» компоненти і «непотрібні». У кожному конкретному випадку це залежить від того, якими способами прикладена енергія впливає на ці компоненти.

Різниця між рівнем термодинамічного порушення рівноваги для різних компонентів сировини полягає в тому, що стосовно певного термодинамічного параметра для конкретного компонента сировини в технологічному процесі створюється відповідний енергетичний параметр, який викликає запрограмовані зміни стану цього компонента, наділяючи його тими властивостями або якостями, які роблять його корисним продуктом.

І навпаки, щодо деякого термодинамічного параметра іншого компонента, що входить до складу цієї сировини, в технологічному процесі відсутній відповідний енергетичний параметр, який цілеспрямовано впливав би на цю складову. Властивості цього компонента майже не змінюються, його споживчі якості не проявляються. Це відхід.

Прикладами таких показників (параметрів), що характеризують умови термодинамічної нерівноваги у виробничих системах, є:

- градієнти певних параметрів: різниця температур, що приводить до виникнення, наприклад, теплопровідності (закон Фур'є), випромінювання (закон Кірхгофа, Стефана–Больцмана);
- різниця концентрацій і супутня дифузія і масообмін (закони Фіке, термодифузія);
- різниця хімічних потенціалів у відповідних хімічних реакціях (закони хімічної термодинаміки);
- різниця тисків і осмос (закон Вант Гоффа, ефект термоосмосу);
- відсутність компенсованих міжмолекулярних сил у поверхневому шарі твердого тіла і відповідних сорбційних властивостей (теорія Поллани);
- сили електростатичної взаємодії (закон Кулона);
- різниця електричних потенціалів і рух електронів в провідниках (закон Ома, ефект Зеебека);
- електричний струм і нагрів провідника (закон Джоуля–Ленца, ефект Пельтьє);
- електролітична дисоціація (закон Арреніуса) та ін.

Це складніше в чисто механічних системах, де необхідно зробити певні спрощення в термодинамічних розрахунках.

Узагальненим завданням для будь-якого технологічного процесу в тій чи іншій мірі є створення таких умов, при яких внаслідок термодинамічної нерів-

новаги певної частини сировини по відношенню до характеру енергетичного впливу цій сировині надаються необхідні якості або властивості, корисні для споживача. Ці дії не мимовільні, не спонтанні, а продиктовані тими термодинамічними параметрами, які закладені в алгоритм даного технологічного процесу.

Основним результуючим показником для оцінки такої термодинамічної нерівноваги є зміна ентропії системи, іноді звана як швидкість зміни ентропії ($\sigma = dS_{\text{необр}}/dt > 0$). Але, в даному випадку, це вже не абсолютна незворотна ентропія, $dS \geq 0$, а дисипаційна функція (Ψ), для якої справедливий вираз І. Пригожина (пояснення див. нижче)

$$d\Psi = d_{x_k} \Psi + d_{j_i} \Psi = \sum_i J_i dX_k + \sum_i X_k dJ_i. \quad (6.15)$$

У слабо нерівноважних термодинамічних системах (розташованих поблизу стану рівноваги) показник ($\pm \sigma_0$) відображений в рівняннях Л. Онзагера (1931) в повній відповідності з теоремою, що носить його ім'я, про симетрії кінетичних показників ($L_{i,k} = L_{k,i}$) в термодинамічно необоротних процесах, таких як, наприклад, теплові процеси, дифузія, окремі хімічні реакції та ін., де є деякі потоки зі щільністю, (j_i), викликані відхиленнями узагальнених параметрів — термодинамічних сил X_k , такі, що ($j_i = \sum_k L_{i,k} X_k$). При цьому

$$\pm \sigma_0 = \sum_i j_i X_i = \sum_i \left(\sum_k L_{i,k} X_k \right) X_i. \quad (6.16)$$

У сильно нерівноважних системах І. Пригожина показник ($\pm \sigma_0$) побічно включається в рівняння (6.9) у вигляді

$$d_{X_k} \Psi = d_{J_i} \Psi = 0,5d\Psi \quad (6.17)$$

у повній відповідності до теореми цього автора (1947 р.) про те, що при певних зовнішніх умовах мінімальна ентропія (не більше 50 %) у відкритій нерівноважній системі досягається за рахунок штучних перешкод, створених у вигляді наведених вище параметричних градієнтів для зростання дисипаційної функції (Ψ).

Для стійкої рівноваги або для стану, близького до стабільного, відношення локальної дисипації і виробництва ентропії має вигляд $\sigma = \frac{1}{T} \Psi$, що дозволяє з деякою похибкою розрахувати динаміку ентропії далеко від стану термодинамічної рівноважності.

У кількісних розрахунках динаміки ентропії в термодинамічно нерівноважних системах гіпотеза локальної рівноваги враховується, згідно з теоремою Пригожина, в тій її частині, коли ентропія, приведена до одиниці маси, яка отримана, наприклад, в явищах теплопровідності, в'язкості, дифузії і т. д., не

збільшується. Тому розрахунок задачі визначення параметрів нерівноважності в рамках технологічного процесу можна звести до рішення лінійного диференціала рівняння типу $J_i = \sum_i L_{i,k} X_i$ в координатах теореми Л. Онзагера. У

порівнянності для цього потрібні вимірювані досвідом параметри, значення яких легко співвідносяться з енергетичними характеристиками технологічного процесу.

Застосування вищевказаної методології стає дуже ефективним при вирішенні різноманітних завдань як в області мінімізації відходів, так і в інших випадках, пов'язаних з утворенням відходів у різних технологіях. Далі ми розглянемо низку дуже цікавих прикладів з області управління потоками сировини в технологічному процесі.

6.4. Мінімізація утворення відходів у джерелі походження — сучасний виклик у технологічних процесах

Сучасний підхід до проблем утворення відходів та мінімізації відходів біля джерела утворення стає проблемою системного управління не тільки цими процесами, а й основою для створення сучасних технологічних процесів, що дозволяють отримувати мінімально допустимі, з точки зору природознавства, відходи. Дещо розмито з позицій економіки і систематики, про це йдеться в роботах [31, 32].

Переробка промислових відходів, їх утилізація, повторне використання і все, що завжди було пов'язано з поведінкою відходів, базується на традиційних інженерних рішеннях, орієнтованих на додаткові енергетичні та трудові витрати, ефективність яких, як правило, невисока. Всім відомі методи переробки відходів, їх утилізація вже постфактум, коли відходи стали реальністю. В результаті суспільство має проблему з постійно зростаючою кількістю промислових відходів, впоратися з якими практично неможливо. На кожен тонну відходів, що переробляється у світі, з'являється шість-сім тонн нових промислових відходів.

Підіб'ємо підсумки нового підходу, який ми пропонуємо і який пов'язаний з подальшим розвитком технологій отримання товарної продукції. Ці методи не відносяться до переробки вже накопичених промислових відходів, як факту, що мав місце [33].

Звернемося до міркувань П. Кузнецова в області нерівноважної термодинаміки, які стосуються перехідних процесів між твердим тілом і рідиною, між рідиною і газом. Це буде не зовсім точний аналіз, але він може показати нам певні тенденції в розумінні і розвитку нерівноважних процесів у таких системах.

Для початку нагадаємо, що для спадної частини функції розподілу швидкостей (а значить, і енергій) молекул речовини в газі загальна кількість таких молекул визначається як

$$dN = N_0 \exp\left(-\frac{Q}{k \cdot T}\right). \quad (6.18)$$

Відходячи від інтегрування, покажемо, що для вирішення нашої задачі необхідно визначити співвідношення верхнього і нижнього енергетичних рівнів молекул N_1 и N_2

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp\left(\frac{Q_2 - Q_1}{k \cdot T}\right), \quad (6.19)$$

що показують ступінь нерівноваги системи, як різниці функцій зміни енергії. Для макросистем енергія визначається такими параметрами, як температура, тиск, концентрація речовини, кількість молекул і деякі інші (в залежності від стану і приналежності об'єкта): $Q_1(t_1, p_1, c_1, n_1, \dots)$ і $Q_2(t_2, p_2, c_2, n_2, \dots)$ — кожен з яких може стати параметром для відображення стану його нерівноваги. Логарифмуючи ліву і праву частину рівняння (6.19), отримаємо те, що відомо в термодинаміці як вираз для абсолютної температури

$$T = \frac{Q_2 - Q_1}{k(\ln N_1 - \ln N_2)}, \quad (6.20)$$

в якому чисельник відображає латентну умову нерівноважності системи ΔQ , а знаменником є відповідна цьому зміна ентропії, $(\ln N_1 - \ln N_2)$, помножена на постійну Больцмана (k). Наприклад, для постійної температури T існує стан, при якому $Q_2 - Q_1 \sim (\ln N_1 - \ln N_2)$. Загальновідома умова, при якій система знаходиться в абсолютній термодинамічній рівновазі, позначається як

$$Q_2 = Q_1 \quad T = 0. \quad (6.21)$$

В цілому всі інші стани являють собою певний ступінь нерівноважності системи, що залежить від параметрів $(t_2 - t_1)$, $(p_2 - p_1)$, $(c_2 - c_1)$, $(n_2 - n_1)$ та інших.

Таким чином, фактор ступеня нерівноважності є визначальним не тільки для стану компонентів сировини, але і для розподілу цих компонентів між майбутніми товарними продуктами з одного боку і відходами з іншого в будь-якому технологічному процесі, про що опосередковано можна судити за даними [34].

Для цього необхідним є наступне.

Ми звертаємо увагу на структуру початкової сировинної бази та на якість і джерела енергії, які беруть участь у цих процесах. Структура сировинної бази, як правило, така, що частина компонентів сировини після деякого енергетичного впливу переходить до складу готового (товарного) продукту, а інша

частина, за допомогою тих же джерел енергії, тієї ж технічної системи, перетворюється таким чином, що стає марним відходом. Тому слід вважати, що продукція — це результат упорядкованих дій із заздалегідь заданим результатом і мінімумом витрат, в тому числі енергетичних. Відходи ж можуть бути отримані в результаті того ж, тільки неупорядкованого, впливу енергії на іншу частину сировини в умовах, для яких дана технологія не передбачена.

Приходимо до висновку, що робота зі створення корисних продуктів і відходів ведеться за одними і тими ж алгоритмами, з еквівалентними і зіставленими енергетичними витратами, причому ці дві отримані матеріальні складові технологічного процесу є рівноправними, відрізняючись лише відношенням до термодинамічної нерівноважності системи, а також суб'єктивним ставленням людини до цих матеріальних складових з точки зору їх споживчої цінності.

Ще раз наголошуємо, що різноманіття джерел енергії, які беруть участь у перетворенні сировинних потоків у рамках технологічного процесу, повинні бути спрямовані не тільки на перетворення обраних компонентів сировини в корисні продукти. Структура цих джерел повинна бути розрахована на перетворення всього спектру сировинних компонентів у корисні продукти. Йдеться про властивість **термодинамічної двоєдності виробничої системи, як причини появи відходів**. Коли одна і та ж технологія по відношенню до певної частини компонентів сировини проявляє себе як сильно нерівноважна і функціонує за законами нелінійної термодинаміки, але, в той же час, по відношенню до іншої частини сировини проявляє себе як слабо нерівноважна і підпорядковується законам лінійної термодинаміки.

Для такої термодинамічної двоєдності виробництва готової продукції і відходів маємо право констатувати наявність накладення цих двох необоротних процесів (рис. 6.8)

У світлі вищесказаного можна поставити завдання про запобігання (мінімізацію) утворення відходів у процесі виробничої діяльності, змі-

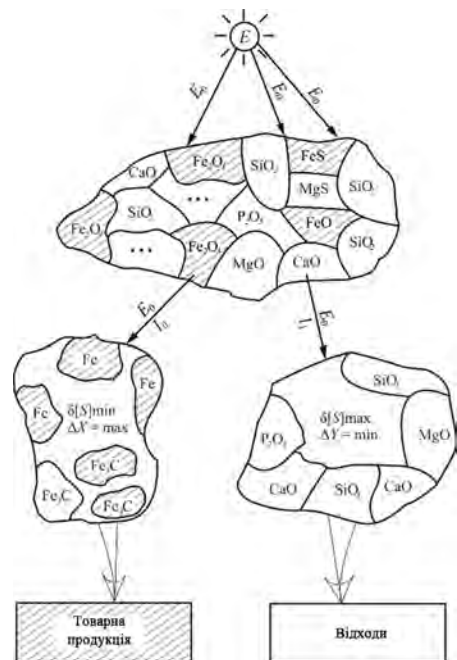


Рисунок 6.8 – Компонентна сировинна та енергетична бази традиційного відходостворюючого технологічного процесу виробництва заліза

нівши, відповідним чином, енергетичну складову технологічного процесу і впорядкувавши його сировинну базу (рис. 6.9). Поки що такі інженерні завдання перед людиною не ставилися.

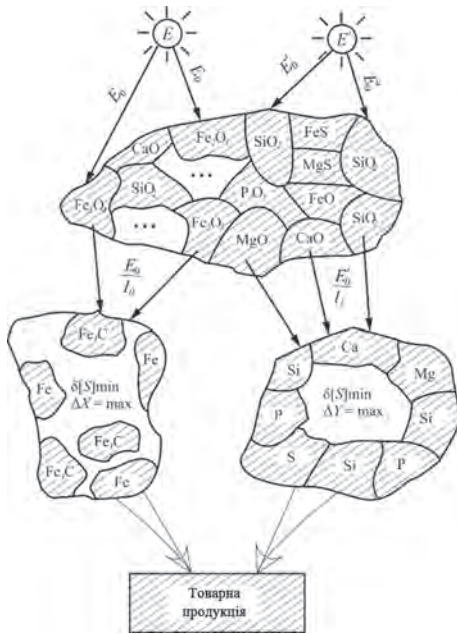


Рисунок 6.9 – Компонентна сировинна та енергетична база технологічного процесу, орієнтованого на мінімум відходів

Можливості технологічної енергії з цих позицій вивчені в літературі слабо. Як правило, якщо енергія використовується в технологічному процесі, то тільки за прямим призначенням у вигляді, наприклад, постійного або змінного електричного поля, нагрівання або охолодження, прямих хімічних реакцій або вибуху, кінетичної, потенційної енергії певного навантаження або обертового інертоїда — накопичувача енергії та інших. Рідко в одному і тому ж технологічному процесі використовується одна і та ж енергія в різних її модифікаціях. Ще рідше використовуються два різних, але узгоджених джерела енергії.

Результат найчастіше такий — під цілеспрямованою переробкою маються на увазі тільки ті компоненти сировини, які представляють інтерес для виробника, та одночасна еквівалентна, але примусова пере-

робка тими ж джерелами енергії решти компонентів сировинної бази, що перетворює їх у непотрібні відходи.

Іноді, навіть незначно змінена енергія дозволяє контрольовано впливати на інші компоненти сировини, перетворюючи їх у корисні продукти (див рис. 6.9). В якості такого джерела енергії, крім основного, який бере участь у даному технологічному процесі, може бути накладене поле іншої якості: *синхронізуючий енергетичний сигнал, вторинний енергетичний ефект, модуляція сильного енергетичного сигналу більш слабким, резонансний ефект і т. д.*, зокрема, представлені на рис. 3.1 (гл. 3). Для посилення ефективності впливу енергії існують способи забезпечення поля протилежного знаку (див. рис. 3.1, б), поле, що змінюється в часі (див. рис. 3.1, в), високочастотне поле тієї ж якості (див. рис. 3.1, г), імпульсне енергетичне поле тієї ж якості, що і основне (див. рис. 3.1, д), і, нарешті, поле резонансного стану по відношенню до початкового, якщо ми маємо справу зі змінними полями (див. рис. 3.1, е). Кожна

з цих модифікацій дає технологам нові можливості впливу на компонентний склад вихідної сировинної бази в напрямку переробки всіх компонентів сировинної бази технологічного процесу в корисний продукт.

Всі ці методи управління енергетичними потоками цілком реальні. Загальним завданням є використання власних ресурсів конкретного технологічного процесу і технічної системи, призначеної для його реалізації, забезпечення найбільш повної і цілеспрямованої переробки всіх компонентів сировини в продукцію, яка мала б споживчу цінність для людини.

Актуальне питання полягає в тому, чи існують такі технології? Чи можна отримати технологічні процеси такими, щоб вони були спрямовані на мінімізацію відходу у джерелі його походження? Це питання альтернативності і виклик для більшості сучасних технологій третього і п'ятого технологічних укладів. Відходомістке металургійне виробництво є дуже цікавим об'єктом для реалізації такого підходу в безлічі відомих технічних рішень, що дозволяють технологічно мінімізувати його відходи, з досвідом яких можна ознайомитися нижче.

Мінімізація відходів у джерелі походження, по відношенню до будь-яких штучних технологій, — явище, далеко не нове для природи. Найбільш ефективні природні комплекси, а саме біологічні, також мають у своєму арсеналі подібні механізми. Вони дозволяють не тільки локалізувати, але і переробляти продукти і відходи життєдіяльності клітини в засвоювану для організму вихідну сировинну масу. Маються на увазі механізми аутофагії, апоптозу, аутолізу і т. д. [35]. В основі цих явищ в організмі ссавця, зокрема людини, лежать регульовані процеси запрограмованого клітинного гальмування всередині самої клітини і переробки продуктів гальмування в спеціальних капсулах інших клітин у багатоклітинних біологічних системах. Ці механізми були відкриті не так давно, в середині минулого століття, але їх дослідження дають дуже продуктивні результати в науці і мають практичне значення [36].

Аутофагічне інгібування, як термін, вперше запропонований у 1963 році Крістіаном де Дювом, являє собою послідовну і цілеспрямовану обробку секвестрованої частки цитоплазми, яка є внутрішньоклітинною частиною загального механізму травлення і метаболізму.

Організм людини втрачає близько $3 \cdot 10^{10}$ біологічних клітин за добу, загальною вагою до 200 грамів. Механізм поповнення клітинного запасу відомий — це поліферація, подвоєння клітин поділом. Але куди діваються ці 200 грамів добової біологічної маси? Відповідно до теорії аутофагії (самостійного поїдання), всі загиблі клітини, пригнічені чужорідними мікроорганізмами, бактеріями, вірусами в обсягах лізосомних органел клітини, *при деяких зовнішніх умовах*, формуються в так звані аутофаголізосоми розміром менше 1 мкм. Вони потрапляють під вплив травного гідролітичного ензим-ферменту у складі елементів кислого середовища органели (катепсинів, фосфоліпази, сульфатази та ін.). І послідовно розпадаються на вихідні амінокислоти. Згодом

ці амінокислоти служать будівельними блоками для нових клітин [35, 36, 37]. Це своєрідна система утилізації та повторного використання будівельного матеріалу в біологічному організмі при певних умовах.

Важливо, що ці процеси є природними для будь-якого багатоклітинного організму як його складова частина. Чого ми поки не бачимо в штучній природі і, зокрема, в системах виробництва товарної продукції, якої біологічно і соціально потребує людина.

Енергетика процесів аутофагії в живому організмі пов'язана, перш за все, з механізмами енергетичного та матеріального дефіциту, коли замість зовнішніх джерел енергії, вуглеводів, жирів, цукрів організм змушений використовувати енергетичні ресурси для розщеплення наявного матеріалу, продуктів загибелі клітин і т. д. [38]. Енергія зовнішніх джерел далеко не вся витрачається людським організмом на зовнішню роботу. Частина цієї енергії ΔE людина витрачає на забезпечення внутрішніх процесів життєдіяльності, включаючи аутофагічні та інші програмовані процедури клітинного гальмування і переробки, таким чином мінімізуючи власні клітинні відходи. Термодинаміка цих процесів дуже складна, проте в ній, як і в будь-яких інших природних і штучних технологіях, існують механізми оптимізації складу «продукт-відходи» на основі координації початкової сировини та використовуваних джерел енергії

Все це дозволяє судити про перспективність даного методу мінімізації утворення відходів у сучасних і майбутніх штучних технологіях.

6.5. Перспективи методологій мінімізації відходів у джерелі їх походження

Таким чином, термодинамічна двоєдність одночасно існуючих сильно і слабо нерівноважних процесів впливу енергії на різні компоненти сировини в будь-якому технологічному процесі є причиною появи одночасно товарних продуктів і відходів у кінцевому термодинамічно рівноважному стані (рис. 1.2, гл. 1). Щоб мінімізувати виробництво відходів у реальному технологічному процесі, необхідно підбирати компоненти сировинної бази і джерел енергії в технологічному процесі таким чином, щоб кожен із цих компонентів отримував такий вплив свого виду енергії, який переводив би його із сильно нерівноважного параметричного стану в рівноважний з урахуванням їх різної термодинамічної міцності (рис. 1.4, гл. 1).

Без сумніву, впровадження таких технологій замість традиційних технологічних процесів, які відпрацьовувалися упродовж десятиріч, є надзвичайно складним завданням. Тому що сучасні технології отримання основного якісного продукту, заради якого і було розпочато дане виробництво і заради якого працювало не одне покоління фахівців, представляються практично заверше-

ним технічним і інженерним рішенням. І будь-яке втручання в таку технологію супроводжується погіршенням якості цього базового продукту. Для чого? Для того щоб запобігти появі відходів? Завдання дуже спірне, з точки зору сучасних технологів. Це вірно. До тих пір, поки протиріччя між потребами людини і можливостями природи не стануть несумісними.

Сучасна статистика не приховує той факт, що з більш ніж 100 млрд т різних мінеральних матеріалів, тих, які щорічно видобуваються з земних надр, лише близько 15 млрд т перетворюються в корисні товарні продукти і лише 29 % знаходять повторне використання після експлуатаційного періоду. На кожну тонну перероблених за рік раніше накопичених промислових відходів з'являється ще шість-сім тонн нових промислових відходів, що складаються та забруднюють навколишнє середовище. Наприклад, металургійна Європа навчилася направляти на гранулювання до 80 % свого знову виробленого металургійного шлаку. З 24,6 млн т доменного шлаку, виробленого тут у 2016 році, 19,4 млн т гранулюються для подальшого використання. При цьому в багатьох країнах старі шлакові відвали залишаються недоторканими [39, 40]. Зі щорічних 42 млн т металургійного шлаку, що виробляється в Україні, 26 млн т відправляється на шлакові відвали [41]. Переробці підлягає тільки кожна третя тонна нового металургійного шлаку. У країні накопичено близько 300 млн т такого шлаку і щорічно не менше 10 млн т нових шлаків відправляється на відвали без переробки.

У країнах СНД фактична переробка металургійних шлаків не перевищує 20 % виробленого [42]. Але якість цієї переробки теж мала би бути кращою. Пропозиції, висунуті вітчизняними експертами, якщо вони будуть реалізовані, лише наблизять Україну до рівня Європи. Тобто вони не дають нам рішень проблеми в доступному для огляду майбутньому.

Це прогресія, за якою не встигають навіть у розвинених країнах Європи та Америки. І це не дозволяє говорити про те, що суспільство впорається з промисловими відходами в доступному для огляду майбутньому. Поки не сформується інші погляди на історію і динаміку розвитку технологічних процесів, хоча б ті, які дали світові найбільше відходів: гірничодобувна промисловість, металургія, енергетика, транспорт.

Звернемося лише до однієї з існуючих технологій, які наближаються до ідеального кінцевого результату. Це технології розкрою матеріалу за допомогою координатно-штампувального преса, плазмового, лазерного, гідроабразивного, електроерозійного або кисневого різання, для штампування звичайними шайбами. Зменшити відхідну частину сировини (розкрійний лист) можна за рахунок штампування на залишках листа шайби менших розмірів в рамках самої технології штампування. А можна, мінімізувавши термодинамічну складову (у вигляді термодинамічного опору), заздалегідь розділити вихідний лист на прямолінійні заготовки і послідовно вирізати кожну з них, отримавши з такої

полоси якусь декоративну лінію. Її можна використовуватися в авангардній архітектурі, будівельних конструкціях, у вигляді несучих спіралей, опорних «черевику», огорожувальних конструкцій і т. д. [43, 44].

Розглянемо тепер один із найбільш відходостворюючих технологічних процесів у металургії — доменний, в результаті якого отримують чавун і доменний шлак. Для спрощення поки не будемо розглядати пілогозові відходи і забруднення водного басейну. У літературі існує безліч способів переробки доменного шлаку [45, 46, 47, 48, 49, 50 і т. д.]. Спільне, що їх об'єднує — трудовитрати, енергетичні витрати для того, щоб привести до стану товарної продукції вже отриманий з доменної печі шлак.

Переробка доменного шлаку в минулому столітті поступово стала актуальною проблемою, коли США, Німеччина, СРСР, Бельгія, Люксембург, Індія, Китай, а за ними й інші країни — виробники чорного металу зіткнулися з величезними шлаковими звалищами, які не лише шкодять природі, але і ставлять перед людьми безліч медичних проблем. З'явилися технології переробки вже накопиченого шлаку. До них відносилися:

- гранулювання високолужного шлаку з метою використання його у виробництві портланд-цементу;
- виробництво щебеню і пемзи з використанням певних реагентів;
- поетапна обробка ковшових залишків;
- пневматична сепарація шлаків з виділенням певних сплавів;
- виробництво шлакопемзового гравію за допомогою вібраційних вібропоризаторів;
- виробництво безцементних шлакоблоків, відливання тубінгів з розплавленого доменного шлаку;
- сепарація абразивної складової при шліфуванні шлаку для поверхневої підривної обробки;
- доменне гранулювання шлаку та ін. Відомий спосіб пічної переробки такого шлаку, коли шлак ще знаходиться в ковші [50]. Цікаве тим, що виключається забруднення землеробних територій під шлакові відвали, шлаки переробляються в рідкому вигляді. Але, знову ж таки, ця обробка дає один і той же кінцевий продукт: гранульований шлак, щебінь, лом.

Всі ці методи були спрямовані, в першу чергу, на переробку вже отриманого шлаку, накопиченого в різних відвалах, обсяги яких постійно зростали. Інших способів впоратися зі зростаючими обсягами накопичення доменного шлаку поки не винайдено. І, поки інженери справлялися з однією тонною накопичених відходів, металурги-технологи вивезли на ті ж відвали ще кілька тонн нового шлаку. Тому що за цей же час вони виробили шість-сім тонн такого необхідного чавуну.

Перспектив, здається, немає. Але давайте подивимося на цю проблему з іншого боку (рис. 1.4, гл. 1). Традиційна конструкція доменної печі широко

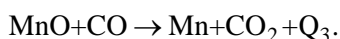
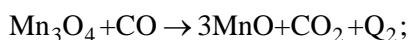
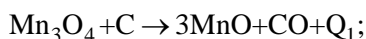
відома. Для простоти викладення новий, альтернативний агрегат вважатимемо нашим теоретичним доменним реактором (Р), оскільки він повинен бути розрахований не тільки на виробництво товарного чавуну, а й на здійснення інших фізико-хімічних процесів, які супроводжують основний доменний процес у вигляді інших виділених компонентів корисних продуктів. Зазвичай шлаковий продукт доменної плавки в кількості не менше 40 % від загальної кількості сировини йде у відходи. Найпоширеніший склад рідкого шлаку включає оксиди кремнію, кальцію, магнію, алюмінію, фосфору, заліза, магнію, марганцю, міді та деяких інших.

Першою умовою альтернативної технології є створення можливостей для сильного порушення термодинамічної рівноваги по відношенню до цих оксидів всередині печі (реактор – R). Розглянемо деякі відомі методи вилучення основних компонентів, присутніх у доменному шлаку, які теоретично можуть бути реалізовані в нашому реакторі.

1. Відновлення кремнію з сировини і шлаків. З металотермії відомо, що відновлення кремнію з його оксиду алюмінієм можливе при температурі 1433 °С. Розглянемо реакцію: $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} = 3\text{Si} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$, при якій оксид кремнію в термодинамічних умовах повністю взаємодіє з алюмінієм при $t = 400$ °С, утворюючи кремній і Al_2O_3 . При більш високих температурах відбувається утворення Al_2SiO_5 , $\text{SiO}_{(c)}$ і т. д. Згідно з [51], ступінь утворення кремнію на рівні 97–100 % досягається в інтервалі температур 500–1000 °С. При цьому тиск у реакторі ніяк не впливає на перебіг цих хімічних реакцій. Погодимося, що теоретично такі умови можуть бути створені на відповідному горизонті доменного реактора, не допускаючи потрапляння в піч більшої частини оксидів кремнію. Але цей процес підлягає більш ретельному дослідженню, як самостійний об'єкт для вивчення.

Для повноти картини можна звернутися до методів відновлення кремнію з оксиду і в потоці водневої плазми ($\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{Si} + 2\text{H}_2\text{O}$). Звичайно, ми отримуємо не чистий кремній, з забрудненнями. Але він більше не буде потрапляти у відходи, стаючи сировиною для подальшого виробництва монокристала. Поки не просто зрозуміло, як це можна реалізувати в доменному реакторі.

2. Відновлення марганцю. У доменній сировині марганець присутній у вигляді оксидів Mn_2O_3 , Mn_3O_4 або діоксиду MnO_2 , у доменному шлаку — тільки у вигляді MnO . У печі відновлення марганцю до чистого елемента може йти в атмосфері вуглекислого газу поетапно від вищих оксидів до нижчих, прямим шляхом:



Відновлення марганцю з MnO твердим вуглецем здійснюється при температурі від $1100\text{ }^{\circ}C$ в районі заплічків доменного реактора. Мається на увазі близько 30–45 % марганцю, який переходить у шлак і підлягає екстракції. Інша частина марганцю від шихти поглинається чавуном. Питання вилучення чистого марганцю із закритого доменного реактора залишається відкритим.

3. Відновлення фосфору.

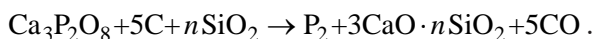
Для початку невеликий екскурс у майбутнє.

Фосфор лежить в основі всього біологічного різноманіття на Землі, як один із ключових елементів для біологічного будівництва. В основному людина використовує фосфор у вигляді суперфосфату, фосфористого борошна, аммофорів для добрива в рослинництві. Тільки за останні п'ять років світове виробництво фосфатів для цих цілей зросло в п'ять разів. При цьому основні запаси природного фосфору в Західній Сахарі і Хібінах значно виснажені. Основні власники природних апатитів і фосфітів — Марокко, Росія, Китай, США з такими обсягами видобутку втратять свої основні запаси вже до кінця століття. І потреба у фосфорі зростає прямо пропорційно збільшенню чисельності населення Землі. Втрати фосфору в основному пов'язані з його вимиванням з полів у водойми, моря, океани. А брак фосфору сильно ускладнить життя наступним жителям планети. Вже зараз вчені схильні вирішувати проблему фосфору, раціоналізуючи його споживання в не меншій мірі, ніж це відбувається для вуглеводнів.

При цьому будь-який металургійний шлаковий відвал промислового підприємства десятиріччями виробляє шлак, який містить сотні і тисячі тонн цього елемента у вигляді оксидів типу P_2O_5 і т. д. Наприклад, два шлакових відвали компанії «Метінвест» в Маріуполі, за найскромнішими підрахунками, містять номенклатуру надзвичайно поширених оксидів фосфору, які дуже важко вилучати, в кількості не менше 0,6–1,0 млн т P_2O_5 . Таких відвалів — тільки в Україні десятки.

Не виключено, що фосфор, як елемент більшості видів мінеральної сировини на планеті, стане тим фактором, який змусить людину ретельніше ставитися до залишків запасів цієї сировини в цілому.

А тепер, по суті. Вміст фосфору в аглоруді знаходиться в межах 0,05–0,06 %, а іноді досягає 1,5 %. Електротермічний метод відновлення фосфору з його оксидів передбачає реакцію з вуглецем коксу в присутності кремнезему і може бути записаний як



Кінетика реакції проявляється при наявності високотемпературного розплаву і певного модуля кислотності, обумовленого SiO_2 . При цьому кислотність реактивної зони може забезпечуватися і наявністю оксидів алюмінію за-

ради відновлення кремнію. Практично всі початкові умови для такої реакції (розплав, кокс, оксид кремнію, наявність кислого середовища, температура) є в нашому гіпотетичному доменному реакторі. Недолік тільки один: традиційна доменна піч не підходить для подібних реакцій. У першому розділі ми спробували назвати такі реактори полімодалними. Змінювати термінологію тут теж не будемо.

Загальні характеристики полімодалного доменного реактора, в якому теоретично можуть протікати подібні реакції, наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Зведені дані про показники впливу на утворення відходів для умовного полімодалного реактора

№	Показник	SiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
1	Температура плавлення (оксид / елемент), °C	1713/1414	535/1246	340/45
2	Температура в зоні реакції, °C	500/1000	1050/1100	~1300
3	Вміст компонента в шлаку, %	50/60	0,7/2,0	0,05/1,5 %
4	Активний реагент	Al	C _{me} , CO	C, SiO ₂
5	Реакція відновлення: – для SiO ₂ 3SiO ₂ + 4Al = 3Si + 2Al ₂ O ₃ – для MnO MnO + CO → Mn + CO ₂ и MnO + C → Mn + CO – для P ₂ O ₅ Ca ₃ P ₂ O ₈ + 5C + nSiO ₂ → P ₂ + 3CaO · nSiO ₂ + 5CO			
6	Термодинамічна характеристика процесу	Екзотермізм	Ендотермізм	Ендотермізм
7	Продукт реакції, %	Si(97 / 99)	Mn(15 / 73)	P(56 / 99)
8	Просторова координата в реакторі для реакції	Лещадь доменного реактору	Заплички реактора, шахта	–
9	Спосіб вилучення з реактору	?	?	?
10	Неможливі взаємодії	SiC, FeS	Розчин марганцю в чавуні, Mn ₂ C	Fe ₂ P

Безумовно, температурний розбіг для таких технологій і існуючих в реакторі хімічних елементів та їх сполук дуже значний, що може привести до елементарного хімічного протиріччя. Очевидно, що створити реактор з такими параметрами вкрай складно. Але цього треба прагнути. Тому що в такому ви-

падку доменне виробництво замість 40 % сировини перевело б у відходи лише 5–10 % цієї сировини у вигляді «поки ще» тієї його частини, що не підлягає переробці. Для наочності, продублюємо ще раз таблицю 1.4 (гл. 1) стосовно даної теми в табл. 6.4.

По суті, мова йде про способи мінімізації відходів у джерелі їх походження, тобто в самому технологічному процесі.

Таблиця 6.4 – Прогнозовані дані розподілу типових компонентів сировинної бази процесу полімодалного доменного процесу між товарною продукцією і відходами, приведеними до відносних кількісних показників товарного чавуну, % (за даними табл. 1.4)

Компоненти сировинної бази	Склад компонентів у вихідній сировині	Типова технологія		Полімодална технологія*	
		Товарна продукція	Промисловий відхід	Товарна продукція	Промисловий відхід
Залізо	16 – 72	60	–	60	–
Кремній	8 – 10 та більше	–	25 – 30	23 – 28	~2
Фосфор руди	0,15	–	0,1 – 0,25	0,15	–
Фосфор коксу	0,015 – 0,04	–	0,03–0,05	0,01 – 0,04	–
Вуглець коксу	80 – 88	3 – 4	–	3 – 3,5	0,5
Сірка руди	0,1 – 0,3	–	0,11–0,25	0,2	–
Сірка коксу	0,5 – 1,8	–	0,05–0,10	–	–
Миш'як	0,05 – 0,09	–	0,03–0,05	0,01 – 0,05	–
CaO вапняку	55	–	3–4	~2	–
SiO ₂ вапняку	45	–	2,5–3,0	~1	–
Зола коксова	8 – 12	–	8 – 10	–	5 – 11
ВСЬОГО:	–	63 – 64	33,3–40,7	89,37 – 94,9	7,5 – 13,5

* – оцінкові варіанти розподілу компонентів, задіяних у технологічному процесі, якщо в ньому присутні полімодалні технології.

4. Металургійна наука спокійно пережила кілька теорій сутності будови шлаку — від молекулярної та іонної до сучасних клатратних і асоціатних теорій. Кожна з них щось пояснювала, десь стопорилася, що вимагало нових досліджень. Однак всі ці дослідження проводилися тільки з метою вивчення властивостей шлаку як інструменту отримання якісного чавуну.

Не слід забувати, що, відповідно до загальноприйнятої теорії молекулярної та іонної будови металургійних шлаків, це рідкий електроліт, в'язкий, багатоконпонентний за складом, компоненти якого знаходяться в умовах електрохімічної взаємодії, і, в той же час, він містить оксиди з вираженою кислотною

й основною структурою [52]. Фахівці зі шлаків розрізняють не тільки іонні, але і ковалентні хімічні зв'язки між компонентами. Це дає можливість більш точно пояснити умови не тільки термічної, але й електрохімічної дисоціації в шлаковому середовищі.

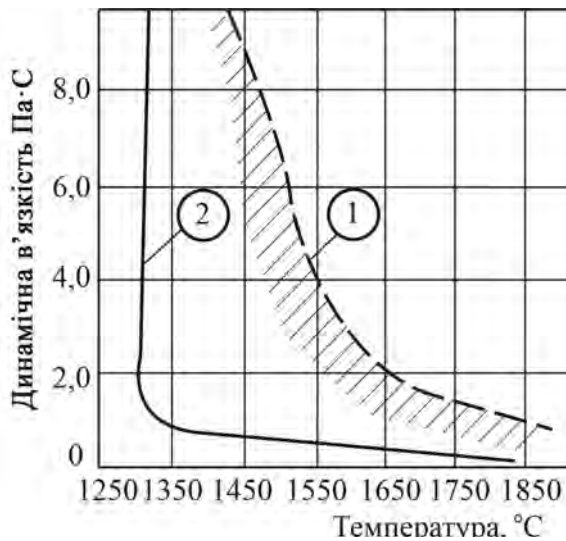
Таблиця 6.5 – Математичні моделі для визначення питомого електричного опору деяких шлаків при температурах до 2500 °С (за даними [53])

№	Назва шлаку	Математична модель, Ом·м
1	CaO – Al ₂ O ₃ – MgO	$p = 3,91 + 2,24 \cdot 10^{-4}(\text{Al}_2\text{O}_3) + 1,26 \cdot 10^{-4}(\text{CaO}) - 6,73 \cdot 10^{-3}t + 3,86 \cdot 10^{-6}t^2$
2	CaO – SiO ₃ – Al ₂ O ₃	$p = 13,03 + 2,27 \cdot 10^{-2}(\text{SiO}_3) + 2,6 \cdot 10^{-2}(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1,82 \cdot 10^{-2}t + 5,68 \cdot 10^{-6}t^2$
3	CaO – SiO ₂ – Al ₂ O ₃	$p = 1,463 - 3,55 \cdot 10^{-3}(\text{CaO}) + 1,9 \cdot 10^{-2}(\text{SiO}_2) + 1,73 \cdot 10^{-2}(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1,66 \cdot 10^{-3}t$

Електрохімічні властивості металургійних шлаків доки ще недостатньо вивчені. Однак для цього є передумови [54, 55]. В роботі [56] показано, що постановка електрохімічних експериментів, в поєднанні з сучасними методами кінетичного аналізу, дає багато відповідей на питання про поведінку шлаків як електролітичних розчинів. Існує розуміння того, як виконуються закони Фарадея і відхилення від них у шлакових електролітах, перенесення електричних сигналів через такі електролітичні розплави [57, 58] задля пояснення встановленої електрохімічної природи взаємодії між частинками в складі шлаку. Ми навчилися оперативно контролювати електричний опір шлакових асоційованих речовин (табл. 6.5).

Іонну природу металургійних шлакових розплавів вперше озвучив В. А. Ванюков, а О. А. Єсін, а пізніше Е. В. Дюльдін представили рідкі шлаки як сукупність іонів та Si⁴⁺, Ca²⁺, Al³⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, O²⁻, F⁻ та інші [59, 60]. Теорія відразу дала низку невідповідностей, які вона не змогла пояснити, зокрема, в питанні про різницю зарядів атомних іонів в їх валентності. Реальні шлакові розплави не відповідають ідеальним іонним розчинам і найбільше представляються у вигляді строго впорядкованого розташування частинок, пов'язаного з відмінностями в енергії їх взаємодії. Розплавлені шлаки мають як мінімум два типи впорядкування атомів і іонів: випадкове сусідство протилежних іонів і взаємно впорядковане розташування аніонів і катіонів. Аналогічно катіонний зв'язок з киснем може бути як іонним, так і змішаним.

Все це порушує відомі трактування іонної теорії. При цьому практично відсутні дослідження поведінки шлаків при підвищених температурах (понад 1750 °С), коли в'язкість розплавленого шлаку мінімальна (рис. 6.10) і може бути порівняна з в'язкістю традиційних добре вивчених сольових розчинів. Більш того, поки не встановлено величину ступеня електролітичної дисоціації шлаків, багато авторів допускають існування в рідких шлаках і нейтральних молекул, і хімічних сполук. Наочна неоднорідність рідких шлаків при досліджуваних температурах не дозволяє зробити висновок про те, що традиційні електролітичні властивості можуть бути застосовані до реальних доменних і металургійних шлаків у цілому. Очевидно, що властивості електроліту при високих температурах будуть дещо іншими.



- 1 – при утриманні $\text{SiO}_2 \approx 60\%$;
- 2 – при утриманні $\text{SiO}_2 \approx 39\%$

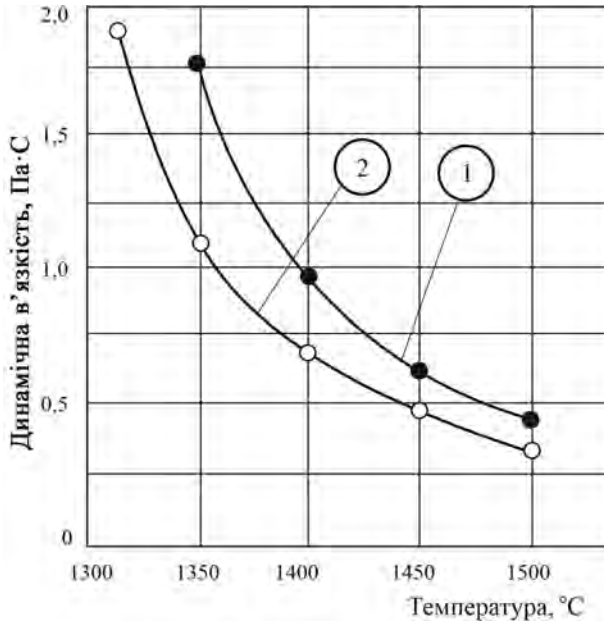
Рисунок 6.10 – Температурна залежність динамічної в'язкості розплавленого шлаку (за даними [61])

Це підтверджується залежністю зниження динамічної в'язкості з підвищенням температури від структурованості аніонів у шлаковому розплаві (рис. 6.11). Чим простіші аніонні радикали, тим нижча в'язкість розплаву.

Ці температурні залежності слід екстраполювати на температурний діапазон від 1750°C і вище. Але таких даних у літературі немає.

Незабаром дійсно з'явилися роботи, в яких автори показують існування в шлакових розплавах при їх стандартних температурах не тільки іонів, але і молекулоподібних асоціатів або комплексів, які лише частково дисоціюють на складові їх іони кальцію, магнію, кремнію та інших компонентів. Другим компонентом шлакового розчину в даному випадку є так звані термодинамічно

самоасоційовані розчини оксидів (за І. Пригожиним) у вигляді субрегулярних іонних (катіонних) розчинів, рознесених певним чином у матриці іонів кисню. Як правило, ці дослідження проводилися тільки з метою адаптації доменного шлаку до потреб підвищення якості чавуну. Це значно збіднює їх результати для вирішення наших проблем.



1 – аніонні ланцюги (10 % (моль)); 2 – окремі аніонні радикали (30 % (моль))

Рисунок 6.11 – Залежність динамічної в'язкості шлакового розплаву від структури аніонних радикалів (за даними [61])

У сучасній роботі [62] стверджується існування процесів полімеризації іонів SiO_2 , одночасне утворення самоасоціативних мономерних і гетеромолекулярних комплексів. Автори виділяють базові комплекси, які спроможні нас зацікавити: $\text{MnO}-\text{SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, SiO_2-FeS , $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, $\text{CaF}-\text{CaO}-\text{CaP}_2$, $\text{MnO}-\text{Mn}_3\text{C}$, $\text{P}_2\text{O}_5-\text{C}-\text{Fe}_2\text{P}$ та ін. Ентропія таких окремих шлакових груп значно нижча, ніж ентропія шлаку, представленого у вигляді повністю іонного розчину. Відповідно до цієї теорії, шлаковий розчин складається з полімерних утворень, гетеромолекулярних асоціатів і неасоційованих молекул окремих компонентів, що входять до складу шлаку і перебувають у постійній динамічній рівновазі, в повній відповідності із законом масової дії. Це може свідчити про більш організовану структуру металургійних шлаків і, отже, про їх більш чутливу здатність диференціюватися на складові компоненти, пов'язані в хімічно більш тісному порядку. Правда, поки немає переконливих доказів того, що такі сполуки, час життя яких, до речі, вимірю-

ється частками секунди, не є іоноутворюючими. Для нас це важливо з точки зору використання електролітичних властивостей шлаків із високою стабільністю і плавкістю рідини [63, 64]. Не вся система шлакових складових може бути піддана дисоціації в іонному розчині.

Таким чином, сьогодні відомо, що шлакові розплави в *тому інтервалі температур, який вивчався*, являють собою особливий вид складних рідких електролітів, зі складною структурою, в яку входять багатокомпонентні іонні комплекси, субоксиди різного складу, окремі молекули та асоціати.

Цей приклад показує, що для виділення хоча б відносно чистих компонентів з металургійного шлаку в якомусь фізико-хімічному реакторі необхідні більш ретельні дослідження, як мінімум, поведінки в умовах підвищених температур і низької в'язкості. Якщо вдасться підвищити температуру в нашому фізико-хімічному реакторі (R) настільки, що в'язкість шлаку дасть йому розуміння як рідини з в'язкістю всередині 0,05–1,1 Па·с (див. рис. 6.10), то до такої рідини в першому наближенні можна застосувати характерні залежності.

У разі, коли розчин містить певну кількість іонів з номенклатури металургійних шлаків, різниця шуканих енергій $\Delta Q = \{Q(n_2) - Q(n_1)\}$ або прихована теплота плавлення є одним із параметрів, який може бути використаний для перегрітих металургійних шлаків в якості визначення нерівноважності цих систем. Тому сильно нагрітий розплавлений шлак може бути об'єктом деякого енергетичного впливу, щоб надати йому якості корисного продукту. Для цього слід знайти необхідну енергію, спосіб її пристосування до такого шлаку і забезпечити технічну підтримку такого процесу.

Тому не можна не враховувати можливості організації процесів електролітичної дисоціації, які при певних умовах (в першу чергу високих температурах розплаву) можуть стати варіантом вирішення проблеми розділення шлакових компонентів. Наприклад, це не суперечить логіці, що в фізико-хімічному доменному реакторі теоретично можливо:

- створити високотемпературний електролізер з використанням електричної енергії на графітових (?) електродах у полімодальному доменному реакторі;
- виділити найбільш реакційноздатні мінерали і компоненти зі складу вихідної доменної шихти;
- забезпечити умови для активації поверхні високотемпературного доменного шлаку;
- забезпечити необхідну в'язкість шлаку для високотемпературного електролізу;
- забезпечити обробку поверхні шлаку розчином відповідної кислоти, з метою впорядкування його структури.

Сьогодні ці пропозиції можуть здатися неактуальними і нездійсненними. Проте досвід створення технологій електрошлакового переплаву в Інституті зварювання ім. Є. О. Патона [65] вказує на те, що існує як теоретична, так і

практична база роботи з рідкими електролітичними шлаками в електричному полі і при температурах близько 2500 °С [66, 67].

Незвичайність методів мінімізації відходів у джерелі походження, тобто в технологічних процесах, полягає в тому, що вони представляють дещо інший сенс для будь-якого технологічного процесу [33, 68, 69]. Це пов'язано, з одного боку, з більш ретельним ставленням до використовуваної сировини, її складової і, з іншого боку, більш ретельним підбором джерел енергії, які використовуються в технологічному процесі. В основному ці два ресурси, які раніше майже не використовувалися при створенні технологічних процесів, можуть зіграти вирішальну роль у мінімізації промислових відходів.

ГЛАВА 7

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ З ТОЧКИ ЗОРУ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ

-
-
- 7.1. Сировинна база доменного виробництва
 - 7.2. Сировина коксохімічного виробництва
 - 7.3. Специфіка утворення відходів у транспортнологістичних операціях
 - 7.4. Особливості формування сировинної бази суміжних виробництв та їх характеристика як джерел утворення відходів
-
-

Ми показали, що найважливішими причинами утворення відходів у будь-якому технологічному процесі є використовувана енергія і компонентна структура сировини, як правило, не узгоджена параметрично з використовуваними джерелами енергії. Під узгодженістю сировини та енергії в будь-якому технологічному процесі слід розуміти співвідношення деяких унікальних параметрів речовини, що входить до складу багатокомпонентної сировини, і параметрів енергетичного впливу на цю сировину (табл. 5.4, див. розділ 5). Наприклад, якщо технологія передбачає термічну обробку багатокомпонентної сировини з виділенням корисних продуктів у вигляді рідкого розплаву, то слід звернути увагу на такий індивідуальний параметр кожного компонента сировини, як своя особлива температура розплаву. Для кожної речовини цей параметр унікальний, і теплова енергія в технологічному процесі тоді повинна бути спрямована на плавлення *всіх* компонентів сировини.

Такі параметри для конкретної речовини, як правило, включаються в таблиці стандартних показників фізичних, хімічних та інших величин і визначаються тільки властивостями самої речовини. Діапазон енергетичних параметрів, здатних впливати на багатокомпонентну сировину в кожному процесі, підбирається індивідуально і чисто емпірично. Поки що в літературі відсутні ефективні теоретичні розробки в прикладних областях, які відповідають за взаємозв'язок між такими показниками водночас декількох компонентів сировини, з одного боку, і видами енергії, здатними з користю трансформувати цю сировину, з іншого боку.

Ми вже відзначали, що особливості та властивості сировини, що використовується в процесі виробництва, безпосередньо пов'язані з процесами утворення відходів із декількох сторін. По-перше, попередня підготовка цих матеріалів з метою їх впорядкування, збагачення, вже передбачає певний склад відходів на попередньому етапі виробництва. По-друге, заздалегідь підготовлена сировина все одно містить відхідну частину матеріалів, яка відторгається основним технологічним процесом, в якому бере участь дана сировинна база. На прикладах металургійного та інших виробництв спробуємо показати, що ці явища носять системний характер і не залежать, зокрема, від особливостей самого технологічного процесу.

7.1. Сировинна база доменного виробництва

Хімічно чисте залізо можна отримати в лабораторних умовах лише в невеликих кількостях. Промислове залізо — це сплави з низьким вмістом вуглецю та інших домішок, частина з яких сприяє поліпшенню показників заліза. Наприклад, невеликий, до 0,5 % вміст вуглецю дає м'яку сталь, з вмістом вуглецю 1,0–1,5 % — отримуємо тверду сталь, залізо з вмістом вуглецю 2–4 % — це чавун. Крім того, залізо — це сплави з добавками багатьох елементів — марганцю, нікелю, кобальту, хрому, молібдену, ванадію, вольфраму, міді та ін.

Промислове залізо може містити такі вимушені домішки, як миш'як, сірка, фосфор, гази — кисень, азот, водень. Фосфор, наприклад, сприяє холодній крихкості металу, сірка — появи червоної крихкості.

Незважаючи на те що залізо, як мінерал, зустрічається в багатьох гірських породах, залізною рудою називають ті породи, в яких його досить для виділення тими промисловими методами, які існують на даному рівні розвитку виробництва (табл. 7.1).

У природі існує чотири види залізорудних корисних копалин, що розрізняються за складом:

– бурий залізняк, в якому залізвмісний мінерал представлений водними оксидами заліза (турин $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, гідрогетит, $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, лімоніт $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, ксантосидерит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) з вмістом заліза від 37 до 55 %;

– червоний залізняк (гематит) із залізом у вигляді безводних оксидів Fe_2O_3 , які містять до 70 % заліза;

– магнітний залізняк із вмістом заліза у вигляді магнітного оксиду, або магнетит Fe_3O_4 , який містить більше 70 % заліза і до 30 % кисню (оксид заліза $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$);

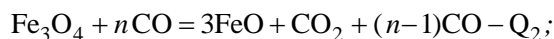
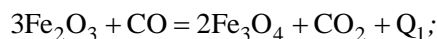
– шпатовий залізняк (сидерит), що містить сполуки оксиду заліза з діоксидом вуглецю (48 % заліза, або 62 % FeO та 38 % CO_2).

Таблиця 7.1 — Деякі мінералогічні характеристики криворізьких руд (Україна)

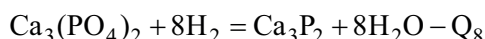
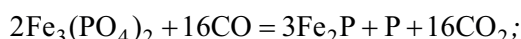
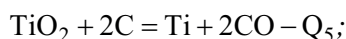
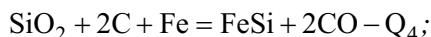
Склад компонентів	Тип руди				
	Магнітослі- катні	Мартит блакитний	Гідромагит омаритова	Гідромагит- това	Бурозалізня- кова
Fe	55	59	57	56	53
SiO ₂	18	13	15	16	12
Al ₂ O ₃	1,0	0,9	2,0	3,5	3,0
CaO	1,2	0,2	0,3	0,3	0,4
MgO	3,0	0,1	0,1	0,4	0,2
MnO	0,2	0,1	0,1	0,15	0,3
P	0,045	0,028	0,035	0,050	0,060
S	0,05	0,04	0,05	0,08	0,04
Грудкуватість, %	90	30	50	55	50
Пористість, %	7	15	25	20	20
Відновлюваність, %	23 – 36	52 – 80	–	50 – 77	65 – 100
Температура розм'якшення, °С	980	1050	–	1100	800
Температура плавлення, °С	1260	1350	–	1400	1400

Склад супутньої породи дуже різноманітний. До основних компонентів відносяться кварцові мінерали, силікати, карбонати, трохи глини, іноді підвищений вміст сірки і фосфору, що внесені в основному піритом і апатитом, а також цинк і мідь, які присутні завдяки мінералам сфалериту і халькопіриту. Слід зазначити, що всі ці компоненти залізної руди не відносяться до заліза і по суті не потрібні для виробництва заліза і його похідних.

Основним процесом, який сприяє отриманню заліза з руди, є його відновлення з оксидів наступними реакціями:



Паралельно йдуть процеси відновлення елементів, крім заліза, наприклад:



та т. ін.

Відновлюваність різних компонентів неоднакова і вимагає різних технологічних зусиль. Наприклад, фосфорно-кальцієва сіль, будучи дуже міцною сполукою, має максимальну ступінь відновлення — всього 5,9 %. Хромовий залізняк відновлюється тільки вуглецем, причому відновлювання в межах 8–15 % здійснюється тільки через 6–8 годин. Кремнезем також є важко відновлюваним оксидом.

Відновлюваність різних мінералів також значно різниться. Наприклад, сидерит вкрай легко відновити. А відновлюваність магнетитів набагато нижча, ніж у інших залізородних мінералів.

Структура і склад залізоносних руд багато в чому визначаються за їх походженням, вони тісно пов'язані з супутніми геологічними породами, в яких містяться такі руди. Точки зору вчених на взаємозв'язок між складом залізних руд і геолого-географічними особливостями сильно відрізняються, часто є діаметрально протилежними. Здається, що зараз немає точної теорії, що підтверджує механізм утворення та існування конкретних різновидів руд у залежності від геологічних процесів. Різноманіття точок зору вчених пояснюється уявленнями, що динамічно змінюються, про природу походження корисних копалин на Землі, розвитком відповідних суміжних наук, перш за все фізики і хімії.

Області поширення залізних руд на Землі дуже великі як географічно, так і геологічно. У таблиці 7.2 представлені дані про характеристику деяких родовищ залізної руди в різних країнах.

Крім того, родовища заліза розташовані в породах як найдавніших геологічних періодів, так і наймолодших (табл. 7.3). Навіть зараз залізородні корисні копалини утворюються в деяких болотистих місцевостях і озерах. Залізоносні руди зустрічаються в найрізноманітніших гірських утвореннях вулканічного, осадового, метаморфозного походження.

Залізовмісні руди утворюються і концентруються в природі завдяки дії геолого-механічних сил, а також як результат фізико-хімічних процесів, що протікають в підземних шарах. В цілому руда складається з двох нерівних частин — залізовмісних мінералів, що представляють собою різні хімічні спо-

луки заліза, і супутніх компонентів, які не відносяться до заліза, але змішані з ним і його сполуками. Багатство руди (показник $C_{(Fe)}$), тобто вагове співвідношення заліза та інших компонентів (табл. 7.1 і 7.2), залежить від виду мінералів, що містять залізо, способу їх утворення і концентрації в гірських породах. Звичайно, існує залежність цього показника від способу промислової переробки цієї руди.

Таблиця 7.2 — Оціночна характеристика запасів залізоносних руд для деяких країн світу

Країна, регіон	Тип руди	Резерви, млн т	Склад компонентів, %					
			Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	P	S
Країни СНД	Гематит, магнетит	3070	25–61	0–8	3–28	0–4	0,05–6,0	0,06–0,27
Швеція	Магнетит	2550	32–65	–	–	–	0,01–2,5	–
Німеччина	Бура залізна, руда, гематит, сидерит	3075	15–35	–	12–29	3–4	0,4–1,0	–
Індія	Гематит	4550	60–70	1–5	1–3	–	0,02–0,12	0,02–0,12
Норвегія	Магнетит	610	40–70	–	–	–	0,04–0,7	0,05–2,0
Франція	Магнетит гематит, сидерит	4200	25–40	4–7	6–24	4–19	0,4–0,8	0–0,13
Венесуела	Гематит	920	55–65	0–4	<1,0	–	0,02–0,13	0,04–0,64
Бразилія	Гематит	2690	40–68	–	–	–	0,05	–
США	Гематит, бура залізна, руда, магнетит	2555	35–63	1–12	3–14	0–1	0,02–0,5	–
Канада	Гематит	2335	35–58	2–5	3–16	2–3	0,03–2,0	0,03–2,4
Південна Африка	Магнетит, гематит, лимоніт	465	38–62	<2	7–15	–	<0,05	–
Китай	Гематит, бура залізна, руда, магнетит,	1075	40–65	–	1–25	–	0,01–0,1	0,01–0,5
Північна Корея	Магнетит, гематит	400	25–35	–	<45	<2	0,1	0,01

Таблиця 7.3 — Геологічна характеристика деяких світових родовищ залізної руди

Геологічний період		Країна, регіон	Тип руди
Четвертинний	Нещодавній	Марокко	Гематити, лімоніти
		Канада	Магнетити
Третинний	Пліоценовий	Крим, Україна	Оолітові лімоніти
		Чилі	Магнетити
	Міоценовий	Японія	Магнетитові піски
	Олігоценний	Іран	Гематити
	Еоценовий	Індія	Глинисті залізняки
Мезозойський	Крейдяний	Німеччина	Лімоніти, гематити
		Франція	Магнетити, гематити
		Південна Африка	Магнетити, гематити
		Іберія	Гематити
	Юрський	Люксембург	Лімоніти, гематити
		США (шт. Юта)	Магнетити
Тріасовий	Індія	Вапняні руди (гематити)	
Пермський	Індія	Гематитові пісковики	
Палеозойський	Кам'яновугільний	Великобританія	Залізняки
		США (шт. Огайо)	Сидерити
	Девонський	США (шт. Вірджинія)	Лімоніти, гематити
		Німеччина	Сидерити
	Силурійський	США (шт. Алабама)	Гематити
	Ордовікський	Канада	Оолітові гематити
Кембрійський	США (шт. Джорджія)	Осадочні лімоніти	

Але найголовніше полягає в тому, що показником багатства залізної руди $C_{(Fe)}$ є не що інше, як опосередкований, але невпорядкований рівень безвідходного металургійного виробництва $C_{(Fe)}$ заліза. Іншими словами, вже на початковому рівні виробничої системи, призначеної для отримання заліза, існує залежність

$$\lim_{P_{jn} \rightarrow C_{jn}} \frac{\sum_{q=1}^Q R_{iq}}{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J P_{jn}} = C_{(Fe)}. \quad (7.1)$$

Тобто ступінь спорідненості ієрархічної системи виробництва, спрямованої на виробництво заліза, в кінцевому результаті, має прямувати до показника багатства вихідної залізорудної сировини. У формулі (7.1) позначення:

R — сукупні матеріальні потоки утворення відходів переробних виробництв;

P — сукупні матеріальні потоки готової продукції власної номенклатури металургійної переробки;

C — сукупні матеріальні потоки залізозмісної сировини металургійного виробництва;

n — порядковий номер рівня виробничої системи;

j — порядковий номер елемента виробничої бази;

q — порядковий номер елемента бази відходів.

На практиці не все залізо переходить з руди в готову продукцію. Частина заліза у вигляді оксидів залишається в шлаку, якась частина виноситься разом з димовими газами і металевим пилом в атмосферне повітря, потім осідає на поверхні землі. Частка останніх становить, наприклад, 9–11 % для мартенівського виробництва сталі, і для конвертерного виробництва сталі — до 13 % всього металу, задіяного у виплавці.

І далеко не всю неметалеву частину залізної руди можна видалити з металу в шлаки. Деякі з них, в силу підвищеного ступеня спорідненості, просто беруть участь у технологічному процесі, деякі, маючи підвищену хімічну активність, залишаються в розплаві, деякі використовуються технологіями для управління якістю готової продукції.

До залізорудних домішок, які практично не беруть участі в металургійному процесі і не впливають на якість хоча б чавуну, відносяться такі компоненти, як глинозем Al_2O_3 , вапно CaO , магнезія MgO , оксиди калію K_2O , натрію Na_2O і деяких інших лужних і рідкоземельних металів. Всі ці вироби, як правило, міцні луги, що дозволяє їм зберігати свою «незалежність» у технологічному процесі. До того ж, якщо вапно і магнезія можуть грати роль флюсів у доменній плавці, то лужні сполуки здебільшого просто забираються з печі разом із колошниковим пилом. На практиці уловлювання та утилізація лугів не видається економічно вигідним. До компонентів залізної руди, частково задіяних у доменній плавці, відносяться силікати, сульфати, оксиди селену, титану, сполуки марганцю, хрому, ванадію, кобальту, ніобію та інших рідкоземельних металів. Велика частина за масою відновлених компонентів відноситься до вільного кремнезему, силікатів SiO_2 . У доменній технології кремній відносно легко видаляється з металу і становить більшу частину доменного шлаку. Тому, говорячи про багатство залізозмісних руд, перш за все, слід враховувати наявність у них сполуки кремнію ($C_{(SiO_2)}$).

Без урахування інших компонентів вихідної залізорудної сировини може бути вірним наступне:

$$\lim_{R_{\text{SiO}_2} \rightarrow C_{ip}} \frac{\sum_{p=1}^P R_{\text{SiO}_2, p}}{\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I C_{in}} = C_{(\text{SiO}_2)}, \quad (7.2)$$

тобто ступінь відторгнення компонентів сировинної бази в кінцевому результаті повинен наближатися до змісту в ній оксидів кремнію. Фактичне значення цього показника, звичайно ж, буде істотно відрізнятися від отриманого виразом (7.2), оскільки при цьому повинні враховуватися функції відторгнення тих компонентів сировинної бази, які є нейтральними до існуючої технології переробки залізної руди, зокрема оксидів алюмінію, лужних металів, присутніх у сировині.

Важливу роль у технологічному процесі виробництва металу грають сірчані включення, які важко видаляються з металу, що виробляється. Вони легко переходять у чавун у вигляді сульфіду заліза або сульфіду марганцю. При цьому звичайний шлак здатний увібрати в себе не більше 5 % таких сульфідів із сировини.

Майже 75 % марганцю з руди переходить у чавун. Технологічно допустимий вміст марганцю в чавунах — не більше 2 %.

До складу залізородних домішок, які завжди задіяні в технології доменної переробки і відновлюються, переходячи в шлаки, входять сполуки миш'яку і фосфору. Якщо перший компонент не часто зустрічається в рудах, то останній зустрічається набагато частіше, але легко видаляється в лужних переробках і важко — в кислих.

Слід зазначити, що через різноманіття компонентів у залізній руді, які є надлишковими для металургійної переробки, в металургії все більше розвиваються технології попереднього збагачення сировини. До них відносяться коксування вугілля, збагачення руди, агломерація і брикетування, огрудкування рудних матеріалів, виробництво окатишів, вторинні способи переробки сталі і т. д. Кожен з цих методів призначений для відділення на якомусь попередньому етапі основного компонента — заліза — від решти мінеральної частини руди або іншої сировини. Простіше кажучи, метою цих технологій є збагачення залізної руди. А з точки зору процесів утворення відходів це забезпечення умов (7.1), але для конкретного рівня ієрархічної системи металургійного виробництва.

Важливу роль у процесах утворення відходів металургійної переробки грають додаткові матеріали, що вводяться в рамках технологічного процесу, наприклад, для зниження тугоплавкості окремих компонентів залізної руди. До них відносяться, насамперед, основні флюси — доломіт і вапняк, в тому числі карбонати кальцію CaCO_3 і магнію MgCO_3 . Ефективність природних флюсів

значно знижується через наявність у них кислотних хімічних домішок — оксидів кремнію, заліза, глинозему. Ці компоненти та їх похідні також слід віднести до вимушених відходів металургійного виробництва.

7.2. Сировина коксохімічного виробництва

Коксохімічне виробництво призначене для отримання високовуглецевого горючого палива — коксу, який використовується в доменних печах. До палива для доменної плавки пред'являються наступні вимоги, які нас цікавлять з точки зору утворення відходів:

- чистота за вмістом шкідливих домішок — сірки і фосфору;
- необхідна пористість для забезпечення газопроникності коксового шару;
- достатня механічна міцність коксу, що виключає утворення дрібної фракції, яка, в свою чергу, перешкоджає нормальному руху газу в доменній печі і видаленню дрібнодисперсного коксового пилу з колошниковими доменними газами.

Певні вимоги до якості коксу роблять доцільними для коксохімічного виробництва далеко не всі породи вугілля. Основними вимогами, які до них відносяться, є механічна міцність і грудкуватість вугілля, вміст золи, сірки і фосфору. В даний час ще до кінця не розроблений прийнятний критерій оцінки придатності вугілля до коксування. На практиці в коксохімічному виробництві, як правило, не використовується якась одна марка вугілля. Для коксування готують суміш вугілля різних марок, що дає можливість контролювати процес набухання, усадки коксового пирога, регулювати зміст дуже несприятливих показників — вмісту сірки, фосфору, золи. Все це забезпечує отримання металургійного коксу хорошої якості.

Сировина для виробництва коксу — вугілля різних марок — являє собою складну органо-механічну сполуку, багато компонентів якої в процесі безкисневого спікання переходять в абсолютно нові органічні сполуки, більшість з яких токсичні і навіть канцерогенні. Вони втрачаються з виробничої системи і поширюються в навколишньому середовищі. В основі цих сполук лежать ті ж органічні речовини, що складають основу вугілля — вуглець, водень, кисень і азот.

Слід зазначити, що компоненти коксу відіграють значну роль як сировинна база доменного виробництва. Тому розглянемо цю частину їх ролі в металургійному виробництві.

Коксування полягає в нагріванні вугілля без доступу кисню. Основні характеристики коксу, що роблять його кращим горючим матеріалом доменного виробництва, наступні:

- середній вміст летючих компонентів у межах 0,9–1,25 %;

- зольність коксу в межах від 8 до 14 %;
- вміст сірки від 0,5 до 2 %;
- вміст фосфору в коксі повинен бути в межах, що не перевищують 0,05 %;
- вміст вологи в межах 2–6 %;
- мінімальний вміст дрібної фракції (0–15 мм виходу з валового коксу) в межах 1–3 %.

Продукцію коксохімічного виробництва, приведену до однієї тони вугілля, наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 — Типовий склад продуктів коксування за існуючими технологіями

№	Найменування компонентів	Одиниця виміру	Кількість
1	Доменний кокс	кг	600 – 700
2	Коксовий дріб'язок	кг	50 – 100
3	Смоли	л	35 – 50
4	Сульфат амонію	кг	10 – 14
5	Аміачна вода	л	65 – 150
6	Сирий бензол	л	10 – 17
7	Коксовий газ	м ³	300 – 360

Вихід корисного компоненту при коксуванні становить $C_k = 0,75 \div 0,8$. Інша частина сировинного вугілля відноситься до неминучих відходів, які переходять в газоподібні і пароподібні продукти сухої перегонки. Вихід газу на тону вугілля становить 300–360 м³.

До складу коксового газу входять водень Н₂, оксид вуглецю СО, вуглекислий газ СО₂, метан СН₄ етан С₂Н₆, сірководень Н₂С, аміак NH₃, азот N₂, кисень О₂, а також ненасичені вуглеводні — етилен С₂Н₄, пропілен С₃Н₆, бутилен С₄Н₈ та ін. Крім того, коксовий газ містить у парі аміачну воду, органічні смоли, сирий бензол і його похідні. Хімічний склад зворотного коксового газу для вугілля різних коксохімічних підприємств представлений у табл. 7.5.

Зола в складі коксу є заздалегідь закладеним відходоутворюючим компонентом для сировинної бази доменного процесу. Зміст мінеральних включень (золи) в коксі залежить від їх вмісту у вихідному коксівному вугіллі. Цей компонент з вугілля практично повністю переходить у кокс. Оскільки вихід придатного коксу завжди менше одиниці, то загальна частка золи в коксі завжди вища, ніж у вихідному вугіллі.

Таблиця 7.5 – Орієнтовний хімічний склад коксового газу, %

Підприємство	H ₂	CH ₄	C _x H _y	CO	NO _x	CO ₂ +H ₂ O
Маркохім (м. Маріуполь)	57,4	26,0	1,6	3,8	2,4	7,8
Дніпровський КХЗ	60,1	24,8	2,4	4,8	2,8	5,3
Кузнецький КХЗ	57,5	25,4	1,9	5,6	2,4	6,3
Магнітогорський КХЗ	57,4	22,4	2,4	6,5	2,0	8,6
Верхньосилезький КХЗ (Польща)	42,2	27,0	1,5	8,3	14,4	6,0
Пітсбург (США)	50,6	34,0	3,6	6,0	3,8	1,7
Рурський завод (Німеччина)	61,2	21,0	1,9	6,0	6,6	2,7

Важливу роль у процесі утворення відходів коксового і доменного виробництв грають такі показники коксу, як його реакційна здатність, тобто здатність реагувати з вуглецевою кислотою з утворенням чадного газу, а також горючість коксу, тобто швидкість його горіння. Різниця горючості і реакційної здатності коксу пов'язана з його структурою, яка, в свою чергу, залежить від складу вугільної шихти і газодинамічних умов коксування. В результаті ці показники безпосередньо впливають на структуру відходів коксування.

Чим вища реакційна здатність коксу і швидкість його горіння, тим більша частка ненасичених вуглеводнів, бензопірену, летких смол, відходів, дуже шкідливих для людини, з'являється у відпрацьованій частині спеченого «коксівого пирога».

Вигідним моментом для виробництва коксу є можливість переробки і повторного використання хімічних компонентів його відхідної частини. Наприклад, висококалорійний коксовий газ використовується частково для обігріву самих коксових батарей, а може використовуватися для обігріву мартенівських печей, нагрівальних печей. Сірчаноокислий амоній використовується в сільському господарстві як азотне добриво або після обробки із фосфатом і поташем, — як комплексне добриво. Фенол (карболова кислота C₆H₅OH), як найбільш низькотемпературний продукт, а також мета-паракрезол CH₃H₄OH використовуються у виробництві синтетичних пластичних мас, наприклад бакеліту, дубильних речовин, барвників, ароматизаторів, пластифікаторів та ін. Ксилолові C₆H₃OH(CH₃)₂ та піридинові C₅H₅N смоли використовуються як розчинники у виробництві фарб, лаків, емалей, анілінових пластмас, кислотостійких гумових цементів. Нафталін C₁₀H₈ використовується при виготовленні широкого спектру штучних смол, лаків, пластмас, олійних фарб, застосовується в якості барвника для паперу і тканин. Його похідні знайшли застосування для виробництва мила, деяких вибухових речовин, фотореагентів і т. д. Креозотові смоли використовуються в основному для обробки деревини. Моторний бензол використовується в деяких випадках як ефективний

антидетонатор, що додається в паливо. Чистий толуол використовується в якості основного компонента при виробництві вибухової речовини — тринітротолуолу.

На закінчення відзначимо, що переробка хімічних компонентів відпрацьованої частини основного коксохімічного виробництва також є відходоутворюючим виробництвом зі своєю частиною відходів.

7.3. Специфіка утворення відходів у транспортнологістичних операціях

Логістичні операції слід віднести до структурних, організаційних і функціональних технологій, які не можуть існувати без безпосередньої участі людини, як невід'ємної частини цієї технології. При цьому людина представляється тим компонентом виробничої системи, який здатний генерувати перетворення матеріальних потоків, змінювати їх організацію, зміст і вектор руху, розподіляти і перерозподіляти ці потоки, в тому числі потоки утворення відходів. Ще раз підкреслимо, що основна відмінність таких технологій від так званих «фізичних» технологій полягає в тому, що провідна функціональна роль тут належить безпосередньо людині.

Транспортно-логістичні операції засновані на плануванні, організації, управлінні рухом матеріальних та інформаційних просторово-часових потоків між виробниками і споживачами різного рівня. Логістичні системи — це ряд вбудованих підсистем найрізноманітніших цілей, пов'язаних між собою загальними функціональними співвідносними щодо єдиної мети логістичної системи. Основу такої системи складають матеріальні потоки і вузли, в яких завдяки деяким технологіям ці потоки зазнають різні якісні зміни. В них можна легко відобразити не тільки економічні механізми перетворень, а й можливі втрати, які неминучі тут, як і в будь-якому іншому динамічному процесі. У зв'язку з цим логістичні системи легко описуються тими ж математичними методами, що й екологічні цикли.

Неважко записати загальну схему логістичного потоку, що трансформується у вигляді бінарного відображення

$$\lambda: f(x_i, \tau) \rightarrow f(x_{i+1}, \tau). \quad (7.3)$$

Тут під поточним перетворенням λ в певний часовий проміжок слід розуміти будь-яку логістичну операцію з перетворення матеріального потоку — вибір транспортного засобу, доставку, складування, закупівлю продукції, формування поточних та інших запасів, реалізацію розподільчих функцій між декількома потоками або між декількома споживачами і т. д.

У всіх цих операціях є незмінна складова, яка повинна відображати втрати матеріальних потоків.

Найпростіший приклад — реалізація функції складування. Складські системи призначені для прийому, розміщення і зберігання отриманих на них матеріальних потоків. Важливим показником в даному випадку є час затримки матеріалу на складі. Чим він менший, тим вища швидкість матеріального потоку, чим вища оборотність оброблюваної продукції, тим ефективніша робота складу. Існує низка причин, через які затримку не можна мінімізувати. Наприклад, це фактор споживання сезонних товарів, їх престижність, пауза рекламного впливу, необхідність додаткової обробки товару тощо.

Будь-який склад обробляє як мінімум три матеріальних потоки — вхідний, вихідний і власне внутрішній, складський. В результаті виділяють три види неминучих втрат, пов'язаних із такими технологіями обробки (табл. 7.6).

Таблиця 7.6 — Структура відходів у складі матеріальних потоків при здійсненні логістичних операцій на складах, %

№	Найменування втрат	Тип складської обробки		
		Вхідна	Вихідна	Внутрішня
1	Сортування вантажів за придатністю	16 – 20	–	–
2	Втрата вантажу при транспортуванні	4 – 8	15 – 20	3 – 5
3	Втрати від зменшення споживчого виду товару	15 – 25	12 – 20	25 – 33
4	Втрати від логістичного браку	6 – 8	16 – 20	–
5	Втрати, що пов'язані з обмеженням терміну зберігання	5 – 25	–	22 – 35
6	Втрати від затримки відправлення до споживача	8 – 15	–	–
7	Втрати від узгодження за ознаками	–	10 – 18	–
8	Втрати, що пов'язані з загубленням вантажу	6 – 15	12 – 21	–
9	Втрати, що пов'язані з деформацією та руйнуванням вантажу при транспортуванні	6 – 16	11 – 22	–
10	Втрати від перепрофілювання потоків за ознаками замовника	–	–	15 – 18
11	Втрати від пакування та перепаккування вантажу	–	–	3 – 10
12	Відходи у вигляді пакувального матеріалу та тари	–	–	5 – 11

При вхідній переробці до таких втрат відносяться відходи в результаті елементарного сортування елементів потоку за їх придатністю до зберігання на даному складі. Елементи певного матеріального потоку товарів, що надходять, необхідно розділити за функціональною або іншою відмінною рисою. Але, крім того, відсіюється та частина матеріалів або товарів, яка стала непридатною при вхідному транспортуванні, втратила або втратить через певний часовий проміжок свій товарний вигляд, не може бути прийнята на склад в результаті логістичного дефекту (потік для інших цілей, відсутність врахування габаритів стелажів, можливості внутрішнього транспорту і т. д.). Частина матеріального потоку в цьому випадку відразу перетворюється у відходи, які підлягають або знищенню, або додатковій логістичній переробці з відповідними додатковими витратами. Відходи при зберіганні матеріалів також пов'язані з обмеженнями термінів їх зберігання, несподіваними затримками у відправці їх споживачам.

При вихідній обробці потоки товарів розподіляють за просторово-часовими характеристиками відповідно до потреб наступних споживачів. Із утворенням відходів тут пов'язані логістичні операції узгодження або невідповідності товарів за фізичними, механічними ознаками (наприклад, при спільному транспортуванні), об'єднання партій товару за вагою, габаритами, способом упаковки і т. д. Відходоутворюючий процес при вихідному транспортуванні пов'язаний з попередніми втратами, деформацією, пошкодженням або знищенням товару при завантаженні.

Внутрішньоскладська обробка пов'язана з оптимізацією потоків на місці зберігання з урахуванням ситуації, яка постійно змінюється, з новими потоками, що надходять, необхідністю переміщення матеріалів відповідно до технологічних, експлуатаційних та інших умов їх зберігання. Це постійне розформування одних і формування інших партій матеріалів, їх реорганізація за умовами замовників. Це розпакування і перепакування товарів, комплектування нових одиниць завантаження. В результаті внутрішньоскладського переміщення товарів, їх перевалки також утворюються відходи матеріалів.

Основні функції складської логістики, які призводять до утворення додаткових відходів, пов'язані з:

– перетворенням потоку виробничого матеріалу в споживчий, у зв'язку з існуючими запитами. Ця функція повинна відображати втрати елементів матеріального потоку за споживчими характеристиками — за функціональністю, конструктивними особливостями, габаритами, вагою, кольором. Іншими словами, складська логістика тут виконує функцію додаткового фільтра, який запобігає появі у виробничому матеріальному потоці непотрібного елемента, що не відповідає споживчим якостям. Виявлена, таким чином, частина потоку незмінно випадає з нього і направляється або в відходи, або в додаткову переробку;

– складуванням та зберіганням. Це додаткові відходи, які можуть нас зацікавити з точки зору часових змін властивостей продукту і пов'язаних з ними

негативних змін у цьому продукті — втрати від гниття, злежування, руйнування і т. д. Інша складова утворення відходів тут може бути пов'язана з примусовою переробкою матеріального потоку, за технологією його зберігання або в зв'язку з реформуванням партій матеріалів;

– уніфікацією і транспортуванням матеріалів. Це пов'язано з функціями об'єднання вантажів різного призначення і властивостей в один матеріальний потік з метою зниження транспортних витрат. Численні упакування та перепакування товару призводять до утворення пакувальних відходів, погіршення якості товару, іноді несумісності при транспортуванні, що також, у свою чергу, призводить до погіршення якості товару. Наприклад, поєднання і транспортування вантажів у м'якій і твердій тарі, вантажів різної крихкості, вантажів, що вимагають диференційованого доступу повітря (зокрема, в разі логістичної обробки харчових продуктів) і т. д.

Технологія виробничої логістики, як відокремленої системи, для відходуотворювання представляє особливий інтерес. Виробнича логістика займає первинне проміжне місце серед інших логістичних систем вже тому, що безпосередньо пов'язана з фізичними технологіями того чи іншого виробництва. Це чинить істотний вплив на причини і структуру утворення відходів, які мають місце в логістичних операціях. Розглянемо їх докладніше.

Внутрішньовиробничі відносини для матеріальних потоків базуються на дещо інших економічних принципах, ніж зовнішні потокові матеріальні розподільчі відносини між виробником і споживачем. Найголовніша відмінність зовнішніх і внутрішніх виробничих матеріальних потоків полягає в тому, що перші не включаються в товарно-грошові відносини, а другі базуються на них. Технології організації логістичних операцій всередині і поза межами промислового підприємства практично аналогічні. Однак процеси утворення відходів, що пов'язані з цим, досить сильно відрізняються. Зокрема, якщо причини утворення відходів у зовнішніх логістичних операціях пов'язані з помилками в самих логістичних системах, то внутрішньовиробничі логістичні операції, як правило, відображають втрати матеріальних потоків, що запрограмовані в основному технологічному процесі, але проявляються на етапах логістичної переробки. До них відносяться, наприклад, приховані відходи від дефектів, виявлені в результаті контрольних виробничих оцінок, зокрема, в результаті інженерної дефектоскопії тощо.

Сюди ж слід віднести виробничі відходи, пов'язані з вимогами логістичних систем управління, такими як ритмічність матеріальних потоків, їх стандартність і універсальність, інші напрямки підвищення організації виробництва, які забезпечуються логістичною технологією, і які в разі збою стають джерелом виробничих втрат. Основні стандартні напрямки виробничої логістики пов'язані з наступним:

– відмова від надлишкових запасів сировини;

- мінімізація часу на виконання транспортно-навантажувальних робіт всіх видів;
- максимальна гнучкість асортименту продукції відповідно до переліку замовлень.

Ці підходи, на перший погляд, обґрунтовано сприяють зменшенню відходів виробництва, в яких присутня дана логістична технологія. Це може стосуватися можливості зниження виробничого браку, скорочення простоїв обладнання, оптимізації внутрішніх товарних потоків, мінімізації транспортних операцій. Однак утворення відходів в організаційних технологіях існує і, як показано вище, може бути досить інтенсивним. Його причини, зокрема, пов'язані зі специфікою виробництва товарної продукції, яка підлягає логістичній переробці. Тут ми ніби стикаємося з явищем уповільненого утворення відходів, яке програмується на етапі виробництва, але проявляється на експлуатаційних стадіях життєвого циклу продукту. Зокрема, мова йде про появу відходів у результаті простоїв, перевищення термінів придатності продукту, відсутності експлуатаційної практики і т. д.

7.4. Особливості формування сировинної бази суміжних виробництв та їх характеристика як джерел утворення відходів

Розглянемо ці питання на прикладі формування та особливостей впливу на процес утворення відходів сировинної бази виробничої системи позапічної переробки сталі. Така система існує як підсистема в рамках загального сталеплавильного виробництва. Залежно від технологічних умов позапічна обробка сталі ділиться на ряд підсистем, кожна з яких призначена для вирішення однієї локальної задачі. Зокрема, системи вакуумування сталі дозволяють проводити дегазацію металу, сприяють видаленню вуглецю, водню, азоту і т. д. З метою мінімізації залишкового вмісту небажаних і шкідливих домішок, глибокого розкислення сталь обробляють порошкоподібними реагентами, які вдуваються в ківш разом з інертним газом-носієм. В результаті в металі знижується вміст сірки, фосфору та ін. Механізм обробки включає в себе прямі хімічні реакції порошку з неметалевими включеннями, механічні та сорбційні взаємодії на розвинутій поверхні порошкового реагенту, термодинамічну взаємодію в обсязі високотемпературного металу і т. д.

До основних критеріїв, які необхідно пред'явити сировинному матеріалу — порошкам, слід віднести високу спорідненість до сірки, фосфору або кисню. Для десульфурзації сталі використовуються порошки, до складу яких входять такі матеріали, як вапно, силікокальцій, карбід кальцію, суміші плавикового шпату, алюмінію і вапна, суміші карбіду кальцію з карбонатом кальцію,

сплави AlCaSiTi , CaAlSiBa , CaAlSiMn , кожен з яких легко отримати у вигляді дрібного порошку.

Наявність у порошку компонентів Al і Si сприяє, крім усього іншого, ефективному розкисленню металу. А алюмінієвмісні кальцієві сплави забезпечують не тільки десульфурацію і розкислення, а й сприяють зміні форми неметалевих включень у прокаті і зниження пористості сталевих виливків.

Для дефосфорації сталі найчастіше використовують суміші типу $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, які, діючи взаємно з фосфором металу, забезпечують видалення останнього на 30–60 %.

Особливість сировинної бази для позапічної обробки металів порошками полягає в тому, що вона також пов'язана з розвитком утворення відходів. Практично весь склад спеціально підібраних порошкоподібних реагентів використовується для видалення з металу непотрібних домішок, які утворюють шлак. Технологічні показники шлакоутворення, отриманого на установках для закачування порошкоподібних реагентів у газовий потік наприклад, на заводі *Georgmarienwerke* фірми «*Klöckner-Werke*» (Німеччина), представлені в табл. 7.7.

Оскільки кількісне співвідношення домішок сірки, фосфору, а також пов'язаного кисню в металі не перевищують 0,005 % за масою, кількість відходів тут невелика. Проте, в принципі, механізм утворення відходів існує. Його відмінність від технологічних відходів, які ми розглядали раніше, полягає в тому, що вторинна обробка металів заздалегідь запрограмована на отримання нових відходів.

Для розуміння процесів утворення відходів у даній технології слід звернути увагу на технології попередніх систем, спрямованих на виробництво самих порошкових реагентів.

Виробництво однієї тонни, наприклад, силікокальцію в дуговій електропечі пов'язане з витратами приблизно 1,9 т кварциту, 0,7 т вапна, 1,9 т коксу. В результаті маємо виробничу базу у вигляді 1,0 т силікокальцію наступного складу: Si (60–65 %), Ca (28–31 %), C (0,1–1,0 %), Al (0,5–1,0 %), S (<0,1 %), P (<0,1 %), а також базу відходів у вигляді 2,3 т шлаків, до складу яких входять оксиди кремнію, марганцю, зола коксу, домішки важких металів — ванадію, вольфраму та ін., Останні досягають 55–65 кг на тонну отриманого порошкового реагенту. Питома площа поверхні одержуваного порошкового реагенту коливається від 500 до 2000 $\text{cm}^2/\text{г}$, що робить його дуже активним компонентом фізико-хімічного процесу переробки рідких металів.

Якщо врахувати, що 1 тонна силікокальцію при використанні в технології позапічної обробки сталі здатна очистити приблизно 140 т рідкого металу, видаливши звідти близько 2,5 т домішок, то слід вважати, що до відходів сталеплавильного виробництва слід додати близько 2,3 т шлаку, отриманого при виробництві самого силікокальцію. Тут можна говорити про супутні технології, які розширюють асортимент бази відходів сталеплавильного виробництва.

Таблиця 7.7 — Технологічні показники утворення відходів при закачуванні порошкових реагентів у газовий потік на установках фірми «Klöckner-Werke» (Німеччина)

№	Найменування показників	Одиниця виміру	Розмір, діапазон
1	Параметри газу-носія (аргон):		
	– тиск у мережі резервуарів	МПа	0,9–0,95
	– тиск вприскування	МПа	0,74
	– споживання	м ³ /год	20–25
л/кг порошку		10–13	
	л/т сталі	28–35	
2	Тип порошкового десульфуратора	–	SiCa
3	Гранулометричний склад	мм	0–0,4
4	Термін вприскування	хв	7–13
5	Споживання порошку	кг/хв	26–31
		кг/т сталі	2,3–2,9
6	Кількість порошку, що вприскується для обробки однієї плавки вагою 140 т	кг	400
7	Споживання порошку для обробки поверхні сталі в ковші	кг/т	3–5
8	Ступінь десульфурзації	%	85–87
9	Місткість у рідкій сталі:		
	– кисню	%·10 ⁻⁴	25 (10–55)
	– сірки	%	0,004 ^{±0,002}
	– водню	%·10 ⁻⁴	2,2–3,6
	– азоту	%	0,007
10	Стан шлаку, що наводиться:		
	– основність	$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$	2,4
	– загальна кількість	кг/т сталі	80–140
	– наявність важких металів	кг/т сталі	1,4–2,7
	– швидкість наведення	т/(хв·т)	0,011–0,020
11	Газоподібні відходи:		
	– вміст SO ₂ + SO ₃	м ³ /т сталі	12–36
	– вміст H ₂ S	м ³ /т сталі	9–24
	– вміст CO ₂	м ³ /т сталі	14–18
	– витрати	м ³ /хв	710–1440

Безсумнівним висновком тут може стати те, що в системах виробництва і застосування порошкових реагентів слід враховувати емісію відходів від наступного виробництва до попереднього. Зокрема, використання суміші кварциту, вапна і коксу для позапічної переробки, якщо це можливо, призвело б до більш значного утворення шлаку в ковші. Таке шлакоутворення в даній технології перенесене в електродугову піч. Тому в кількісному вираженні утворення відходів при позапічній обробці металу порошками представляється кращим по відношенню до будь-якого сталеплавильного процесу. Це досягається за рахунок структурної диференціації виробничих систем, попередньої підготовки сировини і поділу матеріальних потоків утворення відходів.

Ми розглянули різноманітні виробничі системи, в яких утворюються відходи, в залежності від особливостей формування сировинної бази. Якщо в металургійній переробці, в коксохімії в основі технологічного процесу, ми маємо справу з фізико-хімічними, термодинамічними і механічними явищами, то в логістичних системах мова йде про організаційні технології, тобто технології, в яких людина, як головний організатор, є незмінною і функціональною частиною технологічного процесу. У технологіях вторинної переробки ми познайомилися зі структурною диференціацією сировинної бази, що призводить до поділу потоків відходів між попередніми і наступними системами виробництва. Крім того, такі механізми утворення відходів, незважаючи на свою привабливість з точки зору економічності та екологічності, пов'язані з явищами емісії відходів, а тому їх екологічна ефективність явно сумнівна.

Ми можемо спостерігати на практиці ще одну особливість відходоутворення. Це те, що поява відходів пов'язана не тільки з енергією і характеристиками сировини, але і пояснюється суто *організаційними виробничими процесами*. Стає очевидним, що процес утворення відходів у виробничих системах відбувається незалежно від способу установки технології або особливостей закладеної в неї сировинної бази. Цей процес, мабуть, можна вважати апіорі запрограмованим у самому механізмі виробництва, подібно тому, як у виробничій системі запрограмована функція отримання корисних продуктів. Тут ще раз підтверджується правомірність висновку про еквівалентність векторів виробництва не тільки готових корисних продуктів, а й тієї частини виробленого матеріального потоку, яка потім відторгається як непотрібний відхід.

Для подальших досліджень важливо пам'ятати, що будь-яка сировина повинна мати свою структуру як кількісно, так і якісно. Саме така структуризація сировини є основою її компонентної диференціації, що дуже важливо для подальшого розуміння ролі двох нероздільних складових сировини: тієї її частини, з якої отримують товарну продукцію, і тієї її частини, з якої отримують відходи.

8.1. Загальні положення

Ми неодноразово підкреслювали, що оптимізація сировинної бази, наряду з джерелами енергії, задіяними в технологічних процесах, є найбільш ефективним способом мінімізації утворення відходів на джерелі походження. В основі цього лежить невідповідність між багатокомпонентним характером сировинної бази і, найчастіше, однокомпонентністю готового продукту. У будь-якому випадку загальна закономірність така: *кількість матеріальних компонентів в одержуваних корисних продуктах, як правило, менше, ніж кількість компонентів у вихідній сировинній базі.*

(Умови визначення компонентності є дуже відносним. Під компонентами будь-якого матеріального потоку у виробничій системі слід розуміти розбивку складу матеріалу на природно стійкі компоненти за хімічним складом, фізичним станом, агрегатом, розмірами і т. д.).

Саме тому властивість компонентного характеру матеріальних потоків виробництва, включаючи сировину, виробничі бази і бази відходів, є визначальною для управління ними. Управляти однокомпонентним матеріальним потоком не викликає великих труднощів. Тому всі логістичні правила поширюються саме на такі потоки. На практиці найчастіше доводиться мати справу з багатокомпонентними матеріальними потоками. При цьому кожен компонент у технології піддається впливу одного і того ж виду енергії. Його координатна сітка уніфікована, тобто

всі компоненти обробляються в одному місці і, найчастіше, одночасно. Це дає певний результат, ефективний для тієї частини сировинних матеріалів, з яких виходять корисні продукти. І він абсолютно неефективний для тієї частини сировини, яка не потрібна для цього корисного продукту.

У разі подальшої переробки відходів такого виробництва проблема компонентної природи знову виникає, але вже в базі відходів. Багатокомпонентна база відходів практично не утилізується й ефективно не переробляється. Існує емпірична проблема щодо поділу відходів на окремі складові, і тільки потім здійснюється більш-менш реальна їх переробка.

Найпростіший спосіб вирішити цю проблему — раніше диференціювати складові матеріального потоку, який бере участь у даному технологічному процесі. Відомі такі методи, як збагачення сировини (окатишів, агломерату) в металургії. Технологій збагачення матеріальних потоків відходів, на жаль, не існує.

Слід стверджувати, що компонентна диференціація має бути обов'язковим етапом у будь-якому технологічному ланцюжку, починаючи з переробки сировини і закінчуючи переробкою одержуваних відходів. В ідеалі це має бути один технологічний ланцюжок, в результаті якого виробництво перестає орієнтуватися на один кінцевий продукт і стає мультипродуктовим.

Компонентна переробка відходів широко відома. Сюди відноситься, наприклад, логічний за суттю та ефективний за формою, роздільний збір побутових відходів, що є нічим іншим, як попереднім компонентним розділом відходу. Там, де він налагоджений, переробка максимально спрощується. Цей приклад досить переконливий для нашого дослідження. Для побутових відходів використовується диференціація по групах, деякі з них такі:

- органічні відходи та продукти харчування. Утилізаційний метод — компостування;
- дерево, папір, картон. Спосіб обробки — подрібнення для отримання вторинної сировини і добавок;
- текстиль, ламінат. Одним із способів переробки є подрібнення, змішування, термічна обробка, пресування;
- гума, скло, кераміка, армовані матеріали. Способи обробки — структурне подрібнення для отримання добавок у вигляді мінеральних компонентів.

Ці технології можуть бути застосовані, зокрема, у сільському господарстві, в дорожньому будівництві. Кількість груп може змінюватися в залежності від технологій переробки відходів і їх первинної структури.

Цей приклад, хоча і емпіричний, але досить переконливий, щоб шукати теоретичну та логічну базу для нього з метою максимального поширення на всі існуючі типи відходів людської діяльності.

8.2. Регульовані властивості потоків відходів у виробничих системах

Будь-яка виробнича система, незалежно від її утилітарних цілей, характеризується номенклатурою ресурсних елементів, що входять до складу матеріальних потоків сировини, готової продукції, відходів, а також методами перетворення цих ресурсів, тобто деяким технологічним процесом. Абстрагуючись від внутрішнього змісту поняття «технологічний процес», можна сформулювати його основне функціональне призначення, яке полягає у визнанні та виявленні відмінних рис необхідних компонентів сировинної бази з метою перетворення їх у корисний продукт за допомогою відомих фізичних, механічних, хімічних та інших явищ і відповідного технічного оснащення [1].

Деякі особливості властивостей і механізмів утворення відходів, що лежать в основі найбільш типових виробничих процесів, систематизовані в таблиці 8.1.

Перелік таких властивостей можна продовжувати в залежності від того, які технологічні процеси лежать в основі виробництва і які фізичні, хімічні та інші явища використовуються. Слід звернути увагу на прояв особливостей системи при використанні відразу декількох властивостей матеріальних потоків. Наприклад, у гідрометалургії і пірометалургії широко використовується ефект просторового поділу матеріальних потоків за питомою вагою. Однак в останньому виробництві при температурних фазових переходах просторове розділення потоків здійснюється також за рахунок різниці температур плавлення компонентів, що входять до складу сировинної бази, а видалення пилу здійснюється в результаті, наприклад, аеродинамічного підпору в плавильній печі. Особливості виробничої системи в напрямку відведення відпрацьованих газів безпосередньо засновані на перепаді тиску по висоті димоходу.

В той же час, механічна обробка може бути як джерелом прямого утворення відходів внаслідок існування ріжучого ефекту як засобу відділення частини від цілого при фрезеруванні, свердлінні, струганні, так і в якості дроблення при динамічному відділенні цієї частини (стирання при русі, шліфування, точіння, удар, руйнування).

Таким чином, стадія поділу матеріальних потоків у процесі виробництва є визначальною в розумінні природи утворення відходів. Механізм такого поділу, залежний від об'єктивних явищ, що закладені в технології отримання корисного продукту, в кінцевому підсумку характеризує рівень екологічної стійкості всієї системи в цілому.

Екологічну стійкість багаторівневої технічної системи можна оцінити, наприклад, по її відношенню до поділених ресурсних потоків виробництва на сировину (C_i), готову продукцію (P_i), відходи (R_i), розглядаючи кожен з цих потоків у рівній мірі як потенційне джерело забруднення навколишнього середовища в просторово-часових координатах.

Таблиця 8.1 — Деякі властивості матеріалів, що сприяють поділу матеріальних потоків у виробничій системі, і механізми їх прояву

№	Властивості речовин	Механізм розподіл потоків
1	Твердість	Відділення частини матеріалу від цілого
2	Лінійна розмірність	Масообмін, розсіювання, вивітрювання, газовиділення
3	Питома вага, щільність	Розподіл матеріалів по висоті відповідно до їх різної щільності при фазових перетвореннях
4	Коефіцієнт тертя	Перетворення механічної енергії в теплову з подальшим розсіюванням
5	Пористість мікрокрекінг, солідність	Відділення деталі від цілого з подальшим її подрібненням. Динамічний відрив частини від цілого, роздавлювання при русі, стирання, сегрегація, удар
6	Динамічна в'язкість	Розподіл при сегрегації, змішуванні, когезії
7	Зміна тиску в системі	Реструктуризація матеріалів під впливом вібраційного, акустичного та ультразвукового полів
8	Температура фазових перетворень	Розподіл у просторі за різними температурами перетворень. Випаровування, сублімація
9	Хімічна активність елементів	Поділ за ступенем участі в хімічних реакціях, в тому числі по відношенню до нових отриманих матеріалів
10	Теплопровідність, теплоємність, ентропія, температура стану, технологічний температурний перепад	Поділ потоків за термодинамічною ознакою (перехід енергії зі зміною її якості в напрямку зниження)
11	Теплове розширення	Поділ сколом, механічне подрібнення
12	Дифузія матеріалів	Поділ при дифузному переміщенні (фільтрація, мембранна дифузія, взаємне проникнення речовин)
13	Здатність накопичувати електростатичні заряди	Поділ потоків в електростатичному полі. Надання частинкам матеріалу властивостей заряджених іонів
14	Електропровідність, намагніченість	Поділ матеріальних потоків в електромагнітному, електричному та інших полях

Компонентна база (кількість умовних компонентів з матеріалів певного технологічного процесу) визначається глибиною переробки сировини, включаючи її агрегатні, механічні, фізико-хімічні та інші перетворення. Наприклад, для типової технології механічної обробки сировинна база включає 4 елементи (заготовка, мастильна рідина, вода, шаблон), виробнича база — 1 елемент (металева деталь), база відходів — 4 елементи (стружка, окалина, пари, газ). Подібна номенклатура може бути визначена і для деяких видів металургійної та інших галузей промисловості (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 — Оцінка компонентної бази деяких технологічних процесів

№	Технологічний процес	Число компонентів		
		Сировинна	Продукційна	Відходів
1	Агломераційний	36–40	7–11	24–26
2	Доменний	60–64	12–21	29–36
3	Сталеплавильний	67–80	19–25	42–52
4	Гаряча вулканізація гуми	92–104	22–37	62–68
5	Виробництво вогнетривкої цегли	24–29	6–9	19–20
6	Технологія гарячої прокатки металу	26–30	2–4	22–26
7	Технологія таблетування:			
	– у фармакології	14	2–6	9
	– у виробництві пластмас	10–12	2–3	9–10

Посилаємось на дослідження [2]. Відходам виробництва, які не мають споживчої вартості за призначенням, присвоюється властивість технологічного відторгнення з відповідною функцією відторгнення технологічного процесу

$$\alpha_n = \frac{\sum_{q=1}^Q R_{np}}{\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^N C_{in}}, \quad (8.1)$$

а утилізаційні властивості системи представлені функцією технологічної спорідненості

$$\gamma_n = \frac{\sum_{q=1}^Q R_{np}}{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J P_{jn}}, \quad (8.2)$$

де R — компонентна складова бази відходів;

C — компонентна складова сировинної бази технологічного процесу;

Q — компонентна складова виробничої бази технологічного процесу;

n — порядковий номер рівня системи;

i — порядковий номер компонента сировинної бази;

j — порядковий номер компонента виробничої бази;

q — порядковий номер компонента відпрацьованої основи.

Тоді оптимізаційну модель утворення відходів у багаторівневій технічній системі можна представити у вигляді рівняння

$$\frac{d(\alpha_n R_{in} - \gamma_n R_{jn})}{dR} = 0 \quad (8.3)$$

для всіх бінарних відображень

$$\Psi: \alpha_n \rightarrow \gamma_n. \quad (8.4)$$

Для багаторівневих технічних систем ($ТС$) із заздалегідь заданим ранжуванням рівнів ймовірним представляється наступне твердження.

Твердження 1.

а) для $ТС$ n -го рівня з $\gamma_n = \min$ завжди існує $ТС$ $(n+x)$ -го рівня, для якої $\gamma_n = \max$, але в той же час $\gamma_{n+x} = \min$;

б) з розвитком сировино-виробничої бази $ТС$ n -го рівня очевидним є зниження функції спорідненості відходів до даної $ТС$ і підвищення ступеня спорідненості відходів у підсистемах $(n-x)$ рівня;

в) чим вищий рівень якісного і кількісного розвитку сировинної бази $ТС$, тим більший ступінь відторгнення його складових.

Відходи виробництва в технічній системі n -го рівня ($ТС_n$) можуть реалізовуватися або за прямим призначенням, або після відповідної переробки як компоненти сировинної бази в деякій надсистемі ($ТС_{n+x}$) більш високого рангу по відношенню до первинної, але, і це очевидно, вони нереалізовані в оригінальній $ТС$, оскільки є продуктами технологічного відторгнення в даній системі і не сприймаються нею в існуючому стані. У цьому випадку технологічне відторгнення первинною $ТС$ буде максимально зменшуватись за рахунок набування компонентами бази відходів статусу товарної продукції. Але для донорської надсистеми функція технологічного відторгнення повинна зростати за рахунок втрат у технології підготовки і переробки матеріалів, що надходять з первинної $ТС$.

Це явище дуже поширене на практиці і може бути визнане як емісія технологічних відходів у багаторівневих технічних системах у бік підвищення рангу системи.

Наприклад, у великому мартенівському цеху потужністю 3 млн. т сталі на рік кількість утилізованих компонентів мартенівської плавки для окремої печі становить 1–2 позиції (переважно допоміжні матеріали); для всього цеху — 4–6 найме-

нувань загальною вагою 1500–2000 т/добу, що використовуються в допоміжних підрозділах цеху; для блоку цехів основної металургійної переробки — до 10 найменуваних утилізованих матеріалів загальною масою до 7,5 тис. т/добу, а в цілому по підприємству — до 20 позицій, що відносяться до цієї переробки, загальною вагою 12–13 тис. т/добу. Причому витрати на переробку вторинних матеріалів мартенівської плавки в підсистемах збільшуються відповідно в 1,3, 3,0, 3,5 рази з аналогічним збільшенням частки власних відходів. І чим вищий ранг надсистеми-донора, тим більше можна говорити про корисність відходів первинної ТС, тобто її умовної безвідходності. Про це свідчить і тенденція до мінімізації критерію (8.4) за рахунок резервів надсистеми. Однак не слід забувати, що ця «безвідходність» забезпечується за рахунок ресурсів надсистеми, при цьому її власна база відходів збільшується. Більш того, емісія відходів у надсистему супроводжується розвитком сукупної бази відходів, яка отримує прогресивний характер. Наприклад, у технології гранулювання рідкого доменного шлаку функція відторгнення — $\alpha_{n1} = (3 \dots 5) / (12 \dots 21) = 0,14 \dots 0,41$. При утилізації того ж шлаку при вторинній його переробці функція відторгнення до продукції доменного цеху зростає до $\alpha_{n2} = 0,19 \dots 0,66$, а при утилізації шлаку, накопиченого в старих шлакових відвалах, — функція відторгнення $\alpha_{n3} = 0,66 \dots 0,91$.

В цілому мінімізація відходів спрямована на розширення повторного використання ресурсів, вторинної сировини, відходів, що знижує собівартість продукування (табл. 8.3). Однак цей шлях слід розглядати як окремий випадок загальної методики мінімізації утворення відходів у виробничих системах.

Таблиця 8.3 — Економічні та екологічні домінанти при використанні вторинної сировини в різних галузях промисловості, %

Показник	Виробництво			
	сталі	алюмінію	скла	паперу
Економія енергії	45–74	90–97	5–30	25–75
Зниження викидів в атмосферу	60–80	90–95	20–25	70–86
Економія водних ресурсів	25–44	15–19	50–55	58–70
Зменшення твердих відходів	95–97	89–90	75–80	33–39
Зниження відчуження земель	12–15	8–16	–	33–40

У зв'язку з цим стає очевидним припущення про неможливість існування технічних систем із замкнутими тільки на себе власними матеріальними потоками утворення відходів. Тобто поняття локальної безвідходної технології втрачає сенс. Практичний висновок, який випливає з таких результатів, очевидний.

З цієї точки зору одним із найбільш ефективних способів управління утворенням відходів є надання їм властивостей товарної продукції за рахунок ре-

сурсів технічної системи — виробника цих відходів. Механізм реалізації такого підходу може включати:

- зниження функції відторгнення технологічного процесу по відношенню до компонентів власної сировинної бази;
- вивчення властивостей і пошук споживача по кожній конкретній позиції бази відходів даного виробництва;
- надання відходам виробництва додаткових властивостей, необхідних конкретному споживачеві.

Такий підхід широко використовується в практиці багатьох великих іноземних фірм і підприємств, зокрема Nipon Koken, Siemens, металургійного підприємства Лінца та ін. Наприклад, з 1975 року німецька компанія Klöckner-Werke більш ніж у шість разів збільшила вартість досліджень для зниження утворення відходів основних технологічних процесів по відношенню до своєї сировинної бази, збільшила прибуток на 27% за рахунок прямого продажу первинних відходів доменного і сталеплавильного виробництв, отримала дохід у розмірі 4 млн. німецьких марок за рахунок продажу власних відходів, перероблених для потреб будівництва, дорожніх компаній, хімічних фірм і т. д. За даними податкових органів, компанія в цей період практично припинила виплати за надмірні викиди та інші забруднення навколишнього середовища, витрачаючи трохи більше 3% власних доходів на засоби для чищення.

Таким чином, умовою створення «безвідходних» технологій у багаторівневих технічних системах є розвиток емісії відходів у надсистему, що тим не менш, не є свідченням безвідходності системи в цілому.

Важливим фактором для керованості відходами є роль людини у виробничих системах.

В цілому форми впливу людини на природне середовище визначаються не об'єктивними закономірностями, а суб'єктивними передумовами, у формуванні яких важливу роль відіграє структура соціальної надбудови, ментальність суб'єктів цього суспільства. Слід говорити про різноманіття форм участі людини в управлінні матеріальними потоками утворення відходів. Ці форми дають можливість людині, як елементу виробничої системи, виділятися з неї, впливати на неї непередбачуваним чином і, як наслідок, випадати з природного балансу.

Без усякого сумніву, однією з головних особливостей взаємодії людини з іншими елементами виробничої системи є недостатність і неефективність механізмів впливу на певну частину матеріальних потоків, що беруть участь у штучних трансформаціях. Найчастіше мається на увазі втрачена частина використовуваних ресурсів — безповоротні відходи. Але і сировина, і робоча сила, і багато інших ресурсів вимагають пильної уваги з точки зору оптимізації матеріальних потоків в існуючих виробничих системах. Наприклад, оптимізація фінансових ресурсів, приведення їх у відповідність до наявного обсягу вироблених товарних ресурсів дозволяє регулювати розподіл трудових ресурсів у сучасній

економіці виробництва за допомогою створення ринку праці, але за певних умов може призвести до соціальних катастроф.

Інший приклад. Керовані інформаційні ресурси у вигляді світових і національних патентних фондів дозволяють не тільки оптимізувати енергетичні та сировинні потоки в різних технологіях, а й прогнозувати напрямки розвитку товарних ресурсів, змінювати структуру й якість матеріальних потоків утворення відходів як у рамках окремої виробничої системи, так і в галузевому масштабі.

8.3. Структурні модифікації сировини з точки зору управління процесами утворення відходів

Ідея термодинамічної двоєдності в системах товарного виробництва не здається новою. Вперше вона була опосередковано відображена І. Пригожиным [3, 4]. І пов'язано це в основному з умовами сильної нерівноважності, в яких знаходиться та частина сировини для переробки і та частина вихідної енергії, за допомогою якої ці матеріали переробляються в корисні продукти. А також умовами незворотності процесів перетворення окремих компонентів сировини, без прив'язки їх до якості і складу цих компонентів. Наприклад, такі явища, що застосовуються в технологіях отримання корисних продуктів, як дифузія, масообмін, змішування і розділення компонентів, екстракція компонентів, зміни температури, структурні зміни в потрібних компонентах, фазові переходи, тяжіння граничних явищ, тобто там, де з'являються градієнти окремих параметрів (концентрацій, температур і т. д.), можна очікувати сильної термодинамічної нерівноважності в деяких чітко визначених областях незворотності [4].

Рішення проблеми мінімізації відходів у джерелі виникнення бачиться в цілеспрямованій зміні енергоентропіки структури компонентів вихідних речовин, частина з яких переходить у корисні продукти, а частина втрачається у вигляді відходів при впливі однієї і тієї ж енергії. Це стає можливим шляхом приведення непотрібних утворюючих компонентів у сильно нерівноважний термодинамічний стан [1]. При цьому в повній відповідності з теоремою І. Пригожина, що виписується, як $dS = dS_e + dS_i$, така нерівноважна самоорганізація компонентних переходів пов'язана зі зменшенням оборотної частини ентропії dS_e за рахунок перерозподілу з незворотною її частиною dS_e .

Звернемося до логіки І. Пригожина [4]. Для неізольованих систем справедливим є рівняння

$$\frac{dS}{dt} = \pm \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt}, \quad (8.5)$$

де: dS_i — потік ентропії, обумовлений процесами всередині системи;
 dS_e — обмінний потік ентропії, обумовлений зовнішніми процесами.

Очевидно, що відношення $dS_e = 0$ є окремим випадком другого закону термодинаміки і відноситься до ізольованих систем. З точки зору продукування систем нас цікавлять тільки неізольовані системи, для яких другий закон в узагальненому вигляді має вигляд $\frac{dS_i}{d} \geq 0$. Незворотність процесів, яким відповідає це співвідношення, буде дотримуватися до тих пір, поки $dS_i > 0$. Як тільки досягається стан, при якому $dS_i = 0$, система перейде в оборотний стан, в якому обов'язковою умовою буде $dS_e \neq 0$.

Такий перехід від незворотності до зворотності буде цікавий з точки зору процесів утворення відходів як відмова від термодинамічної двоєдності в технологічних процесах саме тому, що з цими процесами тісно співвідносяться особливості перетворення тієї частини сировини, яка потім набуває необхідних властивостей товарної продукції, які з самого початку запрограмовані в даній технології, у тому числі, з попередньо заданим енергетичним впливом. У межі, якби була відсутня частина сировини, з якої при існуючому енергетичному впливі отримувались, змінені порівняно з вихідними речовинами, відходи, то така виробнича система ставала б вкрай незворотною і відповідала б стану, коли $dS_e \rightarrow 0$ і система стає незалежною від зовнішніх енергетичних впливів.

Багатокомпонентність сировини практично для будь-якої виробничої системи, практично для будь-якого технологічного процесу є причиною того, що в системі, заздалегідь орієнтованій на кінцеву термодинамічну рівновагу, відбуваються процеси, що носять нерівноважний характер щодо деякої заздалегідь запланованої частини компонентів цієї сировини. Саме тієї їх частини, що повинна бути програмовано модифікована існуючими в системі внутрішніми джерелами енергії. І. Пригожин показує цікаву таблицю співвідношень термодинамічних потоків і сил (в загальному вигляді A_α і X_α), що беруть участь у таких незворотних процесах. Розширимо її за рахунок деяких інших способів перетворення речовин, які мають місце в різних технологічних процесах (табл. 8.4). Для всіх цих явищ легко обчислюється внутрішня дисипація у вигляді квадратичної форми $\frac{dS_i}{dt} = \sum_\alpha X_\alpha (\sum_l A_{\alpha,l} \cdot X_\alpha)$.

Слід зазначити, що більшість цих потоків є векторними, односпрямованими, що ще раз підкреслює переважну незворотність подібних явищ у технологічних процесах і неможливість їх використання як функції мінімізації відходів у джерелі виникнення існуючими енергетичними можливостями. Безумовно, відкритість будь-якої виробничої системи дає можливість модифікувати зовнішній енергетичний вплив таким чином, щоб штучно направити його на «відходоутворюючі компоненти» сировинної бази. Але для цього потрібні відповідні умови, які визначаються термодинамічною нерівноважністю системи і які в кінцевому

підсумку будуть відповідати стану $dS_i \rightarrow 0$ і $\frac{dS}{d\tau} \rightarrow \frac{dS_i}{d\tau}$. Виконання останньої

умови полягає в приведенні виробничої системи до кінцевої рівноваги за параметром «зміна ентропії», за рахунок усунення процесів утворення відходів і заміни їх процесами таких перетворень, які призводять до виникнення нової товарної продукції в рамках одного і того ж технологічного процесу.

Таблиця 8.4 — Термодинамічні потоки і сили у деяких явищах, що часто використовуються в технологічних процесах (згідно з [3] з доповненнями)

№	Явище	Потік, A_α	Сила, X_α	Напрямок
1	Теплообмін	Тепловий потік	$\nabla(1/T)$	Вектор
2	Масообмін	Масовий потік речовини в одиницю часу, M_τ	Різниця масових концентрацій, ΔC_m	Вектор
3	Дифузія	Потік маси i -го компоненту, $J_{d,i}$	$\nabla(\mu/T)$	Вектор
4	В'язка дисипація	Дисипативна частина тензору тиску, P	$\nabla(1/T)$	Тензор
5	Хімічні реакції	Швидкість реакції ρ, ω_ρ	Спорідненість реакції відносно температури, A_α/T	Скаляр
6	Електричні взаємодії	Електричний струм, I_k	Різниця потенціалів, $\Delta\phi_k$	Вектор
...

Істотним тут є твердження І. Пригожина про те, що поблизу точки рівноваги величина $dS_e \neq 0$ може приймати як позитивні, так і негативні значення (приплив або відтік ентропії ззовні). Але при цьому сума (8.5) також може бути як позитивною, так і негативною, що характерно тільки для неізольованих систем.

Звичайно, нас цікавить варіант реалізації, якщо $dS_e < 0$ і в той же час $|dS_e| > dS_i$. Тобто, коли технологічний процес організований таким чином, що він здійснюється зі зменшенням загальної ентропії:

$$\frac{dS}{d\tau} < 0. \quad (8.6)$$

Такий випадок можливий тоді і лише тоді, якщо зміна стану кожного з компонентів сировинної бази досягається мінімальним впливом певного виду внутрішньої енергії або енергії ззовні без збільшення ентропії самої системи

за наведеним вище алгоритмом. Звичайно, це ідеальний кінцевий результат, який не завжди вдається забезпечити через надзвичайну складність порушення термодинамічної двоєдності в будь-якій виробничій системі, яка долається лише якимись складними закономірностям. Розглянемо деякі з них, принаймні в першому наближенні.

Отже, попередньо звернемося до [3]: *подвійне порушення симетрії перетворення деякими операторами $\bar{\Lambda}$ і $\bar{\Lambda}'$ в порівнянних групах (компонентів) W_τ або W_τ' полягає в тому, що одна з них дає приріст ентропії в одному часовому векторі, а інша — в протилежному. Але тільки одне з цих двох перетворень $\bar{\Lambda}$ або $\bar{\Lambda}'$, що порушують симетрію, відповідає за об'єктивний розвиток системи, включаючи один з порівнянних її станів W_τ або W_τ'* . Автор підкреслює, що системи, для яких існують такі оператори перетворення Λ і виконується відбір (в нашому випадку можна говорити про компонентний відбір сировинної бази), можна назвати «внутрішньо незворотними». Це є підтвердженням викладеного в главі 6 **принципу термодинамічної двоєдності, пов'язаної з умовами виробництва корисних продуктів і відходів**.

Функціональний оператор $\bar{\Lambda}$ по суті повинен впливати на деякі перетворення щільності $\tilde{\rho}$ вихідних параметрів і співвідноситися з розподільною функцією, односпрямованою в часі таким чином, щоб $\bar{\Lambda} = \tilde{\rho}/\rho$ [3]. Під щільністю будемо приймати основну характеристику матриці розподілу компонентів сировинної бази в часовому проміжку $0 \neq \tau$ заради отримання корисних компонентів виробничої системи. В рівній мірі оператор $\bar{\Lambda}'$ буде співвідноситися з розподілом щільності компонентів сировини, які потрапляють в структуру бази відходів $\bar{\Lambda}' = \tilde{\rho}'/\rho$.

Така двоступінчастість незворотності характерна для будь-якого виробничого процесу, в якому відбуваються послідовні перетворення компонентів сировинної бази в корисні продукти і відходи. Емпіричне уявлення є тому підтвердженням. Зворотного шляху перетворення готової продукції в сировину не існує. Внутрішня випадковість, підкреслена автором для перетворень типу Λ , набуває логічного сенсу для будь-якої виробничої системи, незалежно від набору змінних сировини або будь-якої іншої матеріальної бази.

Сировинну базу будь-якого виробництва представимо у вигляді певної номенклатури вихідних матеріальних компонентів, кожен з яких (C_n) відносно рівномірно розподілений по системі. Таку номенклатуру можна легко представити у вигляді умовної квадратичної матриці розміру $n \times n$, де n — кількість компонентів сировинної бази, а $C_{\gamma, \gamma'} [\gamma = 1(1)n; \gamma' = 1(1)n]$ — вагова функція кожного компонента. Кожен з елементів матриці за допомогою власної вагової функції відображає певну γ, γ' -ту властивість цього компонента. Якісна різниця між цими компонентами полягає в тому, що одні з них очікуються в остаточному перетворенні у вигляді корисних продуктів, а інші не беруть участі в їх створенні.

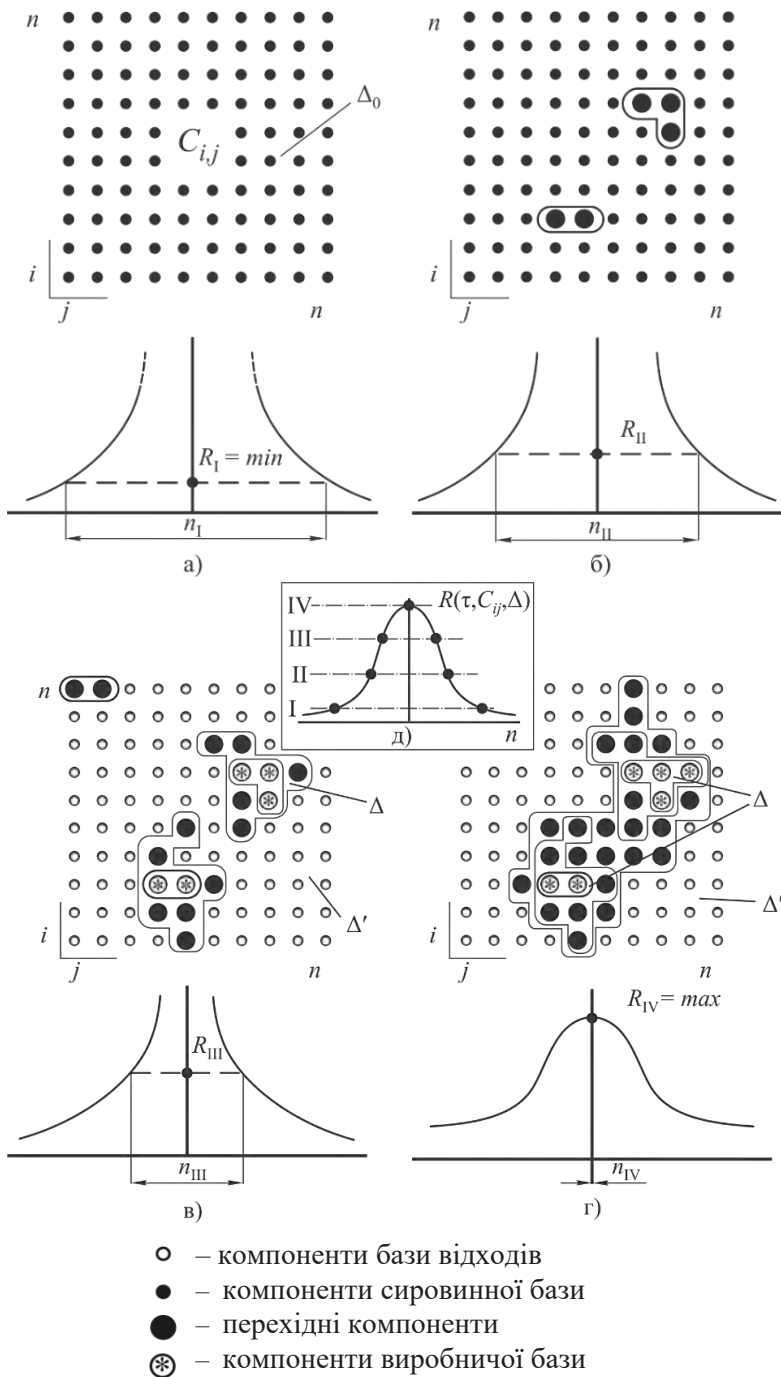


Рисунок 8.1 — Нормальний розподіл компонентів сировинної бази між базами відходів і продукцією

Спробуємо уявити процес продукування у вигляді заданої матриці, в якій відбувається процес замінювання одних компонентів на інші на основі певного енергетичного впливу (рис. 8.1). При цьому порядок елементів матриці зберігається. Змінюється тільки вагова функція цих елементів. Кінцевим результатом такої трансформації є отримання певної матриці $P_{\gamma,\gamma'}$ (з числа $*$ \in i γ $*$ \in γ'), що позначає компоненти корисних продуктів, і $O_{*,*,*}$, що позначає відходи. Оскільки, як правило, енергія впливу, що використовується в тому чи іншому технологічному процесі, є одноваріантною, то і всі компоненти сировини піддаються єдиному енергетичному впливу. Звідси і монотонність функціоналів типу Δ . Щільність Гаусового розподілу ймовірностей змінюється від мінімального значення до максимального при виробництві необхідних виробів. При цьому кількість ефективно задіяних у даному виробничому процесі компонентів зводиться до мінімуму (див. рис. 8.1).

У матриці виділимо дві області Δ і Δ' , на які припадає єдиний енергетичний вплив. Відрізняються вони лише своїм ставленням до цього впливу. Ймовірність переходу компонента $C_{\gamma,\gamma'}$ в стан готового продукту дорівнює $R(\tau, C_{\gamma,\gamma'}, \Delta) = 1$, а ймовірність зворотного переходу дорівнює $R(\tau, C_{\gamma,\gamma'}, \Delta') = 0$. Тоді стандартна траєкторія від матричної точки $C_{\gamma,\gamma'}$ до матричної точки $PC_{\gamma,\gamma'}$ дає так звану вироджену траєкторію, що впливає з відомих у стохастичній теорії властивостей ланцюгів Маркова (вони прийнятні для макроскопічних систем) [3].

$$R(\tau, (C_{\gamma,\gamma'} \rightarrow P_{\gamma,\gamma'}), \Delta) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } C_{\gamma,\gamma'} \in \Delta \\ 0, & \text{якщо } C_{\gamma,\gamma'} \notin \Delta \end{cases} \quad (8.7)$$

і від матричної точки $C_{\gamma,\gamma'}$ до матричної точки $O_{*,*,*}$

$$R(\tau, (C_{\gamma,\gamma'} \rightarrow O_{\gamma,\gamma',\gamma',\gamma'}), \Delta') = \begin{cases} 1, & \text{якщо } C_{\gamma,\gamma'} \in \Delta \\ 0, & \text{якщо } C_{\gamma,\gamma'} \notin \Delta \end{cases} \quad (8.8)$$

Звідси випливає, що двоєдність компонентних трансформацій елементів структурної матриці відбивається умовою одночасності $C_{\gamma,\gamma'} \in \Delta$ і $C_{\gamma,\gamma'} \in \Delta'$ та означає варіабельність, як якість системи, що визначається двома показниками: особливими властивостями компонентів і якістю енергії, задіяної в даному технологічному процесі.

Саме одне і те ж джерело енергії, а також рівномірний енергетичний вплив на всі компоненти сировинної бази є причиною такої двоєдності, коли різні компоненти сировини співвідносяться з різними реакціями, приводячи одні з них до стану властивостей продукту, а інші до стану властивостей відходу. Саме тому якісний енергетичний вплив в рамках єдиної виробничої системи є основою того, що кожен компонент сировинної бази може знайти свого оператора перетворення, в рамках якого $\bar{\Delta} \cup \Delta'$ і $\Delta' \in \Delta$.

У моделях І. Пригожина [3] присутній унітарний оператор $U_{\tau,s}$ відповідальний за формування динамічних підгруп. При цьому підкреслюється, що для незворотних процесів різниця між операторами U і W полягає саме в їх незворотності. Можна бути впевненим, що цю різницю слід пов'язувати тільки з джерелами енергії в системі таким чином, щоб підкреслити послідовну взаємність операторів $U_{\tau}[\rho(\tau)] \rightarrow W_{\tau}\{e[\rho(\tau)]\}$, де e — певний тип енергетичного функціоналу в системі. Такий оператор, в прикладному сенсі, повинен відповідати за узгодженість якості енергії і властивостей компонентів сировинної бази технологічного процесу.

Параметри станів $W_0(e)$ і $W_{\tau}(e)$ такі, що для кожного функціоналу $\tilde{\rho}_0 \Lambda_0$ і $\tilde{\rho}_{\tau} \Lambda_{\tau}$ повинен призначатися функціонал $\tilde{\rho} W_{\tau}\{e[\rho(\tau)]\} \tilde{\rho}_{\tau}$ і $\tilde{\rho}' W_{\tau}\{e[\tilde{\rho}(\tau)]\} \tilde{\rho}'_{\tau}$ (рис. 8.2). Цей своєрідний цикл може бути розірваним тільки в тому випадку, якщо в системі з'являться нові джерела енергії. При цьому стани W_{τ}^{Δ} та $W_{\tau}^{\Delta'}$ для відповідних фазових просторів Δ і Δ' (див. рис. 8.1) будуть істотно відрізнятися в напрямку спеціалізації компонентів сировинної бази під нові адаптовані джерела енергії $e[\tilde{\rho}(\tau)]$.

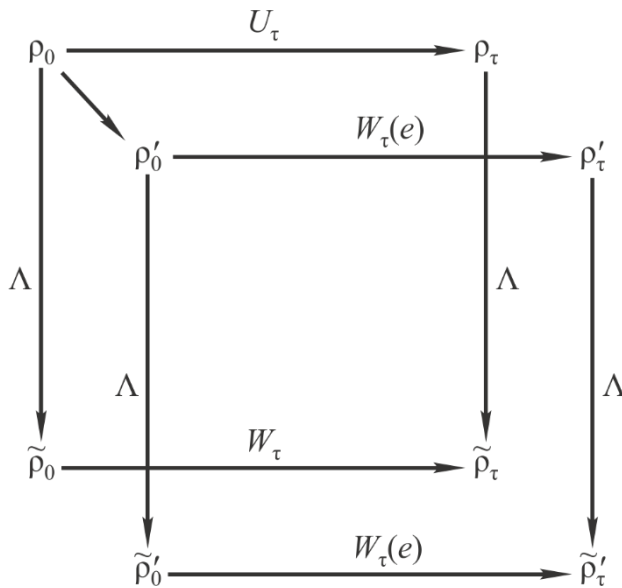


Рисунок 8.2 — Діаграма функціональних переваг розподілу щільності компонентів сировинної бази в умовах незворотності виробничих процесів.

Тому, ще раз підкреслимо, що термодинамічна двоєдність в технологічному процесі може бути порушена тільки застосуванням інших джерел енергії, які будуть технологічно адаптовані до компонентної (в ідеалі, до всієї) структури сировинної бази даного процесу, що призведе до виконання операторної умови $\bar{\Lambda} = 1$ і $\bar{\Lambda}' = 1$ з одночасним дотриманням умови (8.6). Якщо при цьому кожен

вид енергії (в ідеалі) буде мінімально спрямований на перетворення свого особистого компонента сировинної бази, і на це буде своя технічна система, то таке перетворення компонентів переводить їх у розряд сильної нерівноважності при негативній зміні ентропії. І власне виробнича система повністю переходить у цей стан. При цьому, теоретично, відходів на виході такої системи не залишиться.

Актуальне питання полягає в тому, чи існують такі технології? Чи можна отримати технологічні процеси такими, щоб вони були спрямовані на мінімізацію відходів у джерелі походження? Спробуємо розібратися.

8.4. Стародавні технології виноробства і сироваріння

Технології виноробства і сироваріння відрізняються відносною простотою, використанням найпоширеніших джерел енергії. Та й сировинна база цих процесів дуже спрощена. Проте ці технології, на наш погляд, містять в собі всі ті якості, які дозволяють їх відходам практично на 100% стати товарною продукцією.

Технологія виноробства є однією з найдавніших збережених штучних технологій [5, 6, 7, 8, 9]. До її особливостей можна віднести майже повну безвідходність. Більш того, люди давно навчилися переробляти відходи виноробства, і ці технології постійно вдосконалюються. Існує ціла наука «увологія», призначена для вивчення і розробки методів переробки відходів у технологіях виноробства вина. Такий досвід став можливим тому, що за технологіями виробництва вина стоїть багатотисячолітня практична історія, досвід величезної кількості поколінь, великий емпіризм. Але сучасні технології виробництва вина можна розглядати як маловідходний виробничий процес, що наближається до стандарту. Його слід систематизувати і вивчати.

В основі цього процесу лежить дуже проста сировинна база, що складається з одного компонента — культурного винограду, який має біологічну основу — це рослина, що складається з кореневої системи, багаторічної лози, листя і, власне, ягід, які, в свою чергу, складаються зі шкірки, насіння і соковитої м'якоті, заради чого і був запущений процес виробництва вина як високоліквідного товарного продукту (P_0). Кількість і номенклатура відходів виноробства дуже красномовні (табл. 8.5). Остаточо, з трьох компонентів сировини ми отримуємо один компонент корисних продуктів і в загальному вигляді дев'ять компонентів відходів різної якості. Графопобудовна модель виробництва вина показана на рис. 8.3 [10].

Іншими словами, завдяки хімічним реакціям бродіння (окислення) ми отримуємо основний товарний продукт — вино і цілий букет відходів, кожен з яких, шляхом використання енергії хімічних реакцій у системі, не здатний перейти до складу товарних продуктів. У повній відповідності з принципами термодинамічної двоєдності системи. У процентному співвідношенні товарна

продукція, вино, становить приблизно 50% від загальної кількості сировини, з яких 3% складають винні залишки при тривалому зберіганні (так звана відгінна рідина). Решта — прями відходи, номенклатура яких представлена дев'ятьма компонентами (табл. 8.5) і які не підлягають переробці за рахунок діючої в цій системі енергії.

Таблиця 8.5 — Система утворення відходів у технології прямого виноробства (морфологічна таблиця графів вершин, див. рис. 8.3)

Сировина			Відходи		
Назва	Шифр	%*	Назва	Шифр	%*
Виноградні ягоди	C_1	12–22	Насіння	R_1	12
Лоза виноградна	C_2	68	Віджим	R_2	15
Виноградне листя	C_3	10–20	Гребені	R_3	10
ВСЬОГО:		100	Дріжджі	R_4	4–6
Продукція			Винний камінь	R_5	0,6–1,5
Назва	Шифр	%	Коньячна барда (вінасс)	R_6	4,5
Вино	P_0	47	Сульфідні залишки	R_7	1,5–5,4
Експлуатаційний відхід вина			Лоза виноградна	R_8	—**
Відгінна рідина	R_{11}	3,0	Виноградне листя	R_9	—**
ВСЬОГО:		50	ВСЬОГО:		50

* — співвідношення мають значний розкид у залежності від особливостей технології;

** — не є сировиною для основного продукту технології.

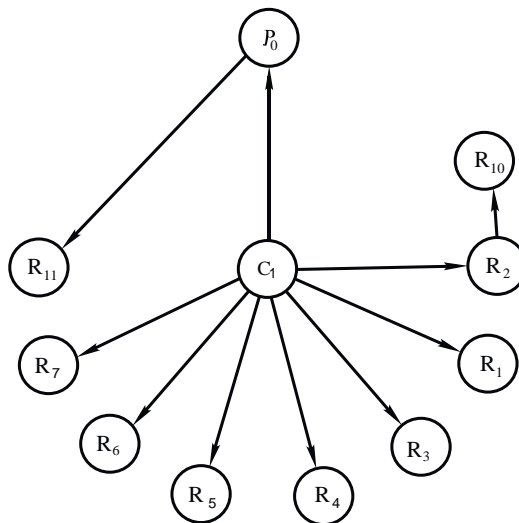


Рисунок 8.3 — Графопобудовна модель технології виробництва вина

База відходів, як це впливає з теорії енергоентропіки, — це та частина системи, яка відноситься до рівноважних або слабо нерівноважних систем, через що вони не зазнають необхідних змін, що дозволяють виділити деякі їх корисні якості (дійсна суть відходів). Необхідна додаткова енергія, здатна змусити цю базу утворених відходів перейти в сильно нерівноважний стан і, таким чином, отримати можливість самоорганізації за допомогою, навіть, процесів біфуркації (за І. Пригожиным [3]).

Історія виноробства показує, що такі джерела енергії були знайдені емпіричним шляхом. Ми лише констатуємо їх (табл. 8.6). У таблиці наведені типи технологічних процесів, які прийняті в увології, і відповідні їм види енергії, що використовуються для переробки конкретних відходів (назвемо їх первинними). Кожен з цих видів енергії (механічна, теплова, хімічна) є найбільш доступною і простою. Тому люди могли використовувати їх у будь-якому технологічному укладі, що дало багатівіковий досвід і дуже високі емпіричні результати.

Таблиця 8.6 — Додаткові джерела енергії для переробки первинних відходів виноробства

Шифр відходу	Назва відходу	Технологічний процес	Енергія	
			ΔE_i	Тип використаної енергії
R_1	Насіння	Осідання, нагрів, натискання	ΔE_1	Енергія механічного тиску, гравітація, теплова енергія
R_2	Віджим	Дистиляція, перегін	ΔE_2	Теплова енергія, енергія механічного тиску
R_3	Гребені	Дроблення, натискання, промивання	ΔE_3	Енергія механічного тиску, гідравлічний тиск
R_4	Дріжджі	Перегін	ΔE_4	Теплова енергія, енергія перегрітої пари
R_5	Винний камінь	Виділення солей, барботаж, кипіння	ΔE_5	Енергія покровових хімічних реакцій, механічне збовтування, термічна обробка
R_6	Коньячна барда	Суша перегонка, пропарювання	ΔE_6	Теплова енергія, в тому числі без доступу кисню

Якщо прийняти логіку викладення І. Пригожина [3], то наявність якогось додаткового джерела енергії, здатного впливати на конкретний вид відходів, стало підставою для виведення виробничої системи з можливого стану біфуркації (*BF*). Результатом довільного вибору в даному випадку стали технології переробки первинної сировини (рис. 8.4) в корисні продукти. Ще раз підкреслимо, що вони носять емпіричний характер, але добре вписуються в систему координат

теореми Пригожина. При цьому треба бути впевненим, що для кожного відходоутворюючого первинного компонента в системі, що переходить в сильно нерівноважний стан, є наявною саме така енергія, яка пригнічує характерну для нього біфуркацію в напрямку отримання нового корисного продукту ($P_1 \div P_{12}$).

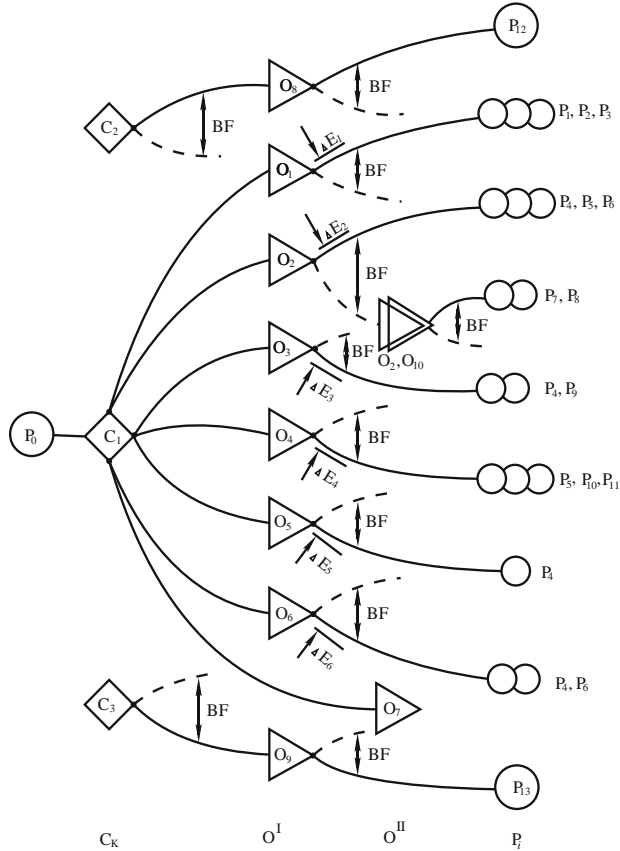


Рисунок 8.4 — Біфуркації (BF) в процесах самоорганізації для отримання повної технології переробки первинних відходів виноробства за рахунок зовнішнього енергетичного поля (ΔE_i). Тут кінцева база відходів (R_7, R_{10}) і виробнича база ($P_1 \div P_{12}$)

Із загальної номенклатури найменувань відходів практично всі вони підлягають різній переробці таким чином, що в результаті виходить нова номенклатура товарної продукції, кожна з яких буде мати свого споживача (табл. 8.7).

В результаті, сучасна технологія виробництва вина з компонентністю сировинної бази, що дорівнює одиниці, може мати компонентність виробничої бази 12 одиниць і компонентність бази відходів 2 одиниці (табл. 8.7). З відомих систем виробництва корисних продуктів виноробство займає одну з лідируючих позицій за рівнем мінімізації відходів у джерелі походження.

Таблиця 8.7 — Результати переробки відходів технології виноробства (морфологічна таблиця)

Відходи			Продукція вторинної переробки		
Назва	Шифр	%	Назва	Шифр	%
Насіння	R_1	12	Олія харчова	P_1	3,0
			Парфумерні добавки	P_2	1,0
			Технічна олія (оліфа)	P_3	8,0
Віджим	R_2	15	Відгінна рідина	P_{10}	4,5
			Винна кислота	P_4	0,5
			Спирт	P_5	6,0
			Світільний газ	P_6	1,0
Сухий залишок віджиму	R_2	В т.ч. 3,0	Добриво	P_7	0,5
			Корм скоту	P_8	2,5
Гребені	R_3	10	Винна кислота	P_4	7,5
			Дубильна речовина	P_9	2,5
Дріжджі як шлам після бродіння	R_4	4	Спирт	P_5	2,1–3,2
			Вугілля для друкарської фарби	P_{10}	0,4
			Енантовий спирт	P_{11}	1,2–2,1
			Винна кислота	P_4	0,3
Винний камінь	R_5	1,5	Винна кислота	P_4	0,4–1,1
Коньячна барда (вінасс)	R_6	4,5	Винна кислота	P_4	3,5
			Газ-освітлювач	P_6	1,0
Сульфідні залишки	R_7	3,0	–		–
ВСЬОГО:		50*	ВСЬОГО:		45,9–48,6*
Лоза винограду	R_8	–	Папір	P_{12}	95**
Листя винограду	R_9	–	Корм для худоби	P_8	50**

* — відсоток маси вихідної сировини;

** — відсоток маси первинних відходів.

Спробуємо розглянути ще одну стародавню технологію, сиророблення (або сироваріння), яка за своїм впливом на людство не має рівних серед інших технологій.

Найбільш ранні дані про виробництво сиру датуються 8000 роком до н. е. В його основі лежало молоко молочних тварин: корів, коней, кіз, яків, лам і т. д. Незалежно від того, де в світі перебувала ця людська спільнота, люди, так чи інакше, прийшли до технології виготовлення сиру з молока. З'явилося інтуїтивне розуміння того, що сир має високу концентрацію корисних жирів, мікроелементів, які спочатку містилися в молоці і добре засвоювалися людиною. Засвоєння сиру становить 98–99%.

Це вигідне виробництво як з точки зору калорійності продуктів харчування, так і безпеки продукту. Якщо молоко у великих обсягах і в природних умовах може зберігатися кілька днів, то сир витримує багатомісячне зберігання і займає невеликі обсяги з високою калорійністю. Це було вигідно в побуті пастухам, численним кочовим племенам. Сир був вигідний як продукт і під час військових походів і операцій. Греки і монголи, гуни і сармати, хрестоносці і сарацини володіли різноманітними технологіями сироваріння і використовували сир у побуті і у військових походах як продукт тривалого зберігання. Це давало їм можливість швидко пересуватися, маневрувати, економити сили після тривалих переходів і для бойової активності і в цілому накопичення життєвого ресурсу.

Не будемо зачіпати особливості технологій виробництва сиру, що дозволяють виробляти найрізноманітніші його сорти (в світі налічується понад 1400 сортів сиру). Нас цікавить спрощена схема сировинних і виробничих баз, а також баз відходів при виробництві сиру (табл. 8.8) [10].

Таблиця 8.8 — Система утворення відходів при безпосередній технології виробництва сиру (морфологічна таблиця)

Сировина			Відходи		
Назва	Шифр	%*	Назва	Шифр	%*
Молоко	C_1	96,45	Сироватка первинна	R_1	50
Ферменти	C_2	3–3,5	Тверді включення	R_2	0÷0,05
Сіль	C_3	0,05	Сирний слиз	R_3	1,0÷3,0
ВСЬОГО:		100	Сирна крихта	R_4	2,0
Продукція			Сирна обрізь		3,0
Сир сортовий	P_0	37	Вторинна сироватка	R_6	6
Сироватка первинна	P_1	1,0÷3,0	ИТОГО:		60÷62
ВСЬОГО:		38÷40			

* — співвідношення, що мають суттєве поширення в залежності від особливостей технології

Тут ми знову стикаємося з тим, що енергія хімічних реакцій, присутня в системі сироваріння, здатна переробити не всі побічні продукти. У суворій відповідності з теоремою Пригожина ми шукаємо інші джерела енергії, які будуть

здатні перевести відходи сироваріння в розряд товарної продукції (табл. 8.9). Знову відзначимо, що ми лише констатуємо наявні результати, але вони повністю відповідають принципам термодинамічної двоєдності і спрямовані на підвищення нерівноважності всієї технологічної системи.

Таблиця 8.9 — Додаткові джерела енергії для переробки первинних відходів сирного виробництва

Шифр відходу	Назва відходу	Технологічний процес	Енергія	
			ΔE_i	Тип використаної енергії
R_1	Сироватка первинна	Пастеризація, фільтрація	ΔE_1	Теплова, механічна
R_2	Тверді включення	Фільтрація, сорбція	ΔE_2	Механічна, поверхньо-активна енергія
R_3	Сирний слиз	—	—	—
R_4	Сирна крихта	Термообробка, переплавка	ΔE_4	Теплова
R_5	Сирна обрізь	Термообробка, переплавка	ΔE_5	Теплова
R_6	Сироватка вторинна	Термообробка	ΔE_6	Теплова

Побудуємо модель орієнтованого графа, який відображає не тільки всі проміжні стани при переробці сировини, а й показує технологічні процеси, тобто функції, що дозволяють досягти утилізації більшої частини відходів сировинного виробництва (рис. 8.5). Морфологічна таблиця орграфу представлена в табл. 8.10.

Таблиця 8.10 — Морфологія сучасної технології виробництва сиру

№	Вершина	Шифр	Назва	Ребро	Назва
1	2	3	4	5	6
1	1	C_1	Вихідне молоко	1–2	Фільтрація
2				1–3	Пастеризація
3	2	R_1	Тверді частинки	—	—
4	3	—*	Молоко пастеризоване	3–5	Створожування
5				3–6	Створожування
6	4	C_2	Ферменти	4–3	Ферментація
7	5	—*	Сирна маса	5–5	Ущільнення, створожування

Закінчення табл. 8.10

1	2	3	4	5	6
8				5–6	Виділення сироватки
9				5–8	Дозрівання сиру
10				5–9	Розвиток мікрофлори сирного слизу
11	6	P_1	Сироватка	6–6	Створення товару
12	6	R_2	Сироватка	6–13	Кислотна обробка
13				6–14	Ультрафільтрація, сушіння
14	7	C_3	Сіль кухонна	7–5	Посол
15	8	P_0	Сир сортовий	8–10	Обрізання сиру
16				8–11	Розкришування сиру
17	9	R_3	Сирний слиз	–	
18	10	R_4	Сирна обрізь	10–11	Змішування
19				10–12	Теплова обробка
20	11	R_5	Сирна крихта	11–10	Змішування
21				11–12	Теплова обробка
22	12	P_2	Сир плавлений	–	–
23	13	P_3	Казеїновий сир	–	–
24	14	–*	Казеїн протеїновий	14–15	Теплова обробка
25				14–16	Екстрагування
26	15	P_4	Мінорний білок	–	–
27	16	–*	Сироватковий протеїн	16–16	Теплова обробка
28				16–17	Екстракція вторинної сироватки
29				16–18	Концентрування білка
30	17	R_6	Вторинна сироватка	–	–
31	18	–*	Концентрат сироваткового білку	18–19	Розпилювальне сушіння
32				18–20	Кислотна руйнація протеїну
33				18–21	Іонний обмін і мікрофільтрація
34	19	P_5	Протеїновий гель	–	–
35	20	P_6	Гидролізат	–	–
36	21	P_7	Ізолят	–	–

* — проміжні компоненти в технології

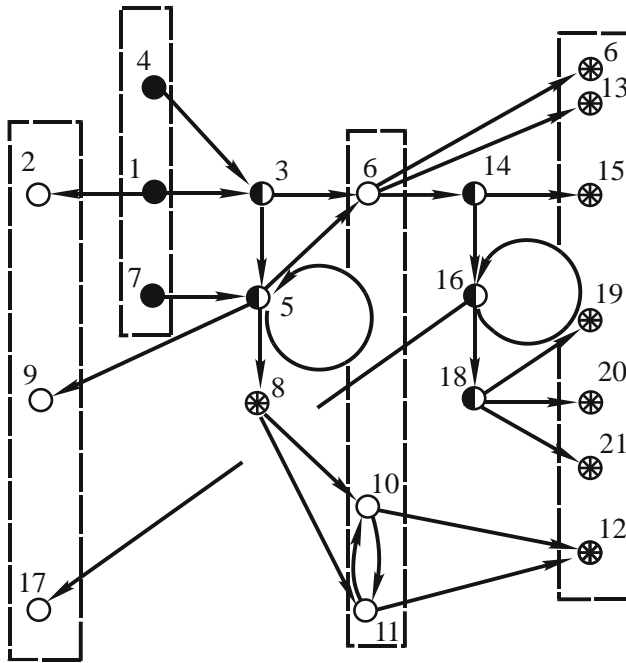


Рисунок 8.5 — Графопобудовна модель типової технології виробництва сиру

В результаті маємо: при початковій компонентній сировинній базі з трьох компонентів отримуємо продуктову базу з восьми компонентів і базу відходів удвічі менше за вихідну.

Такі технології, як виноробство і сироваріння, можуть, в якійсь мірі, бути еталонами з точки зору мінімізації відходів у джерелі походження. Принаймні, емпірично показано, що факт появи в системі нових джерел енергії, а також, крім усього іншого, завдяки новим доступним методам впливу на компоненти системи, ці факти приводять систему в сильно нерівноважний стан і тим самим дозволяють різко зменшити утворення відходів і збільшити вихід загальної товарної продукції.

8.5. Математична модель руху фосфоровмісних матеріальних потоків у металургії

Зручним прикладом управління потоками відходів є модель руху фосфоровмісних компонентів у металургії.

Фосфор лежить в основі всього біологічного різноманіття на Землі, як один із ключових елементів для біологічного будівництва. В основному людина використовує фосфор у вигляді суперфосфату, фосфористого борошна, омофорів для добрива в рослинництві. Тільки за останні п'ять років світове виробництво

фосфатів для цих цілей збільшилося в п'ять разів. При цьому основні запаси природного фосфору в Західній Сахарі і Хібінах значно виснажені. Основні власники природних апатитів і фосфітів, Марокко, Росія, Китай, США, з такими темпами видобутку, втратять свої основні запаси до кінця століття. А потреба у фосфорі зростає прямо пропорційно збільшенню чисельності населення Землі. Втрати фосфору в основному пов'язані з його вимиванням з полів у водойми, моря, океани. А нестача фосфору сильно ускладнить життя наступним жителям планети. Вже зараз вчені схильні вирішувати проблему фосфору, раціоналізуючи його споживання в не меншій мірі, ніж це відноситься до вуглеводнів.

В цей час, наприклад, два шлакові відвали Метінвесту в Маріуполі, за найскромнішими оцінками, містять надзвичайно поширені оксиди фосфору, які дуже важко добути, в кількості не менше 0,6–1,0 млн. т P_2O_5 .

Не виключено, що фосфор, як елемент більшості видів мінеральної сировини на планеті, стане тим фактором, який змусить людину ретельніше ставитися до залишків запасів цієї сировини в цілому.

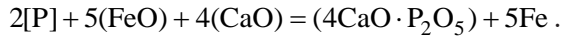
Фосфор входить окремим елементом у багатокомпонентні бази сировини будь-якого металургійного виробництва. Він, як сірка і миш'як, відноситься до шкідливих домішок у металах. Зі збільшенням вмісту фосфору в сталі знижується її пластичність і ударна в'язкість, при низьких температурах при механічній обробці з'являється холодноламкість. Фосфор сприяє формуванню відпускнуї крихкості легованих сталей. Тому, розташовуючись у вихідній сировині, фосфор відбраковується металургійними технологіями як небажаний елемент. Вихідний фосфор присутній у металургійній шихті: руді, агломераті, доменному коксі, брукхі і деяких феросплавах.

У металургійній шихті цей компонент міститься у вигляді сполуки $(FeO)_3 \cdot P_2O_5$ і $(CaO)_3 \cdot P_2O_5$. Технологія доменної плавки не дозволяє повністю видалити фосфор, який містять у собі вихідні речовини, з одержуваного металу. Він практично весь відновлюється і переміщується до чавуну. Крім того, фосфор присутній в коксі і його золі.

Основним джерелом фосфору в сталі є чавун (кл. А — менше 0,15%; кл. В — менше 0,2%; кл. С менше 0,3%). Для фосфорних чавунів вміст фосфору може доходити до 2%. Певна кількість фосфору припадає на металобрукхт і феросплави. Його кількість там — від 0,015% до 0,1%. Загальний вміст фосфору в сталі коливається від 0,015 до 0,035%. Окислення фосфору починається на початку конвертерної плавки. Первинні сталеплавильні шлаки містять оксидів фосфору до 3,5%. Фосфор має здатність розчинятися у фериті, впливаючи, таким чином, на підвищення міцнісних характеристик сталей. Зміст цього компонента у вигляді складового розчину в Fe_3P α -чавуні в металургійних сталях становить 0,02–0,03%.

Фосфор має більш високий ступінь спорідненості до кисню, ніж залізо. Тому він видалається в процесі окислювального рафінування при виробництві сталі,

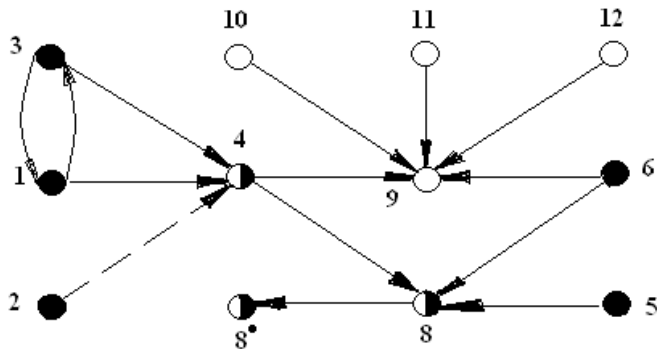
але виділяється у вигляді таких складних сполук, як $3\text{FeO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$, і переходить у шлак, підвищуючи його кислотність. Окислення фосфору можливе тільки на міжфазній поверхні металошлаку при наявності вапняно-залізного складу шлаку з достатньою кількістю NaF , що забезпечує високу основність шлаку і високу активність FeO у співвідношенні (7:1:2):



Другий етап дефосфорації пов'язаний із прискоренням продувки конвертера з використанням, наприклад, CaO , CaF_2 , FeO . На етапі механічної обробки металу, зокрема його прокатки, залишковий фосфор може дати небажане явище — холодноламкість металу. Тому фосфор є небажаним супутнім компонентом протягом усіх основних металургійних процесів.

Фосфорні відходи присутні, в основному, в сталеплавильних шлаках і самій сталі. Фосфору в металургійних вихлопних газах практично немає. Стічні води металургійного виробництва також не містять слідів фосфору.

Графова модель матеріальних потоків, що містять фосфор і його сполуки у металургійному виробництві, показана на рис. 8.6.



- Сировинні матеріали, в яких присутній фосфор
- ◐ Готові матеріали, в яких присутній фосфор

Рисунок 8.6 — Графобудівна модель руху фосфоровмісних компонентів в металургійному виробництві

Морфологічна таблиця моделі (табл. 8.11) дає уявлення про всі основні функції, властиві металургійним технологіям і спрямовані на зміну вмісту фосфору як складової в матеріальних потоках (сировина і продукування). Модель ідентифікує сировину (темні вершини), а також готові матеріали (напівтемні верхівки), в яких присутній фосфор.

У сучасній промисловості металургійний фосфор використовується дуже погано і найчастіше осідає в шлакових відвалах, заповнення з яких спричиняє багато проблем в екосистемах.

Таблиця 8.11 — Морфологічна схема руху фосфору в металургійній переробці

№	Вершини графа			Дуги графа	
	Назва компонента, в якому змінюється фосфор	Вагові коефіцієнти вершин	Числове значення α , кг/т	Найменування	Призначення функції, що приводить до зміни вмісту фосфору
1	Агломерат $(\text{FeO})_3\text{P}_2\text{O}_5$ и $(\text{CaO})_3\text{P}_2\text{O}_5$	α_1	0,05–10,0	| 1,3 | | 1,4 |	Взаємодія вуглецю коксу з залізом агломерату Відновлення заліза
2	Залізна руда (умовна шихта)	α_2	10,0–50,0	| 2,4 |	Можливість надання до скіпу залізної руди
3	Кокс металургійний	α_3	0,15–0,4	| 3,1 | | 3,4 |	Взаємодія заліза з вуглицем коксу Насичення вуглицем заліза
4	Чавун	α_4	1,5–3,0	| 4,9 |	Формування стальшлаку
5	Брухт металевий	α_5	0,15	| 5,8 |	Розплав брухту в конвертері
6	Феросплави	α_6	0,3–3,0	| 6,8 |	Формування первинного фосфористого шлаку $[\text{P}]+8[\text{O}]+3\text{Fe}_{\text{ж}}=(3\text{FeO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5)$
7	Доменний шлак	α_7	0	| 6,9 |	Перехід фосфору з феросплавів у шлак
8	Конвертерна сталь	α_8	0,35	| 8,8 | | 8,9 |	Позапічна обробка фосфору Формування вторинного фосфористого шлаку Ca_3P_2 , Fe_3P , Fe_2P , FeP , FeP_2
8'	Сталь після позапічної переробки	$\alpha_{8'}$	0,15	–	–
9	Сталеплавильний шлак	α_9		–	–
10	Присадка CaO	α_{10}	0	| 10,9 |	Підвищення основності та хімічної активності вторинного шлаку
11	Присадка FeO	α_{11}	0	| 11,9 |	$2[\text{P}]+5(\text{FeO})+4(\text{CaO})=(4\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5)+5\text{Fe}$
12	Присадка CaF_2	α_{12}	0	| 12,9 |	

Найчастіше і найлегше такий фосфор використовується в якості розсіяного мінерального добрива для додавання рослинам — зерновим, фруктовим, ягідним, овочам, а також при обробці полів.

Стандартно для цих цілей використовуються фосфорні руди і продукти їх переробки. Основною сировиною для цього є фосфорити й апатити, $\text{Ca}_5\text{X}(\text{PO}_4)_3$ (де X — фтор, хлор або гідроксогрупа). Найпоширеніший з них — суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ з вмістом фосфору до 45%. Важливо, щоб цей склад не сприяв засоленню ґрунту. Тому фосфорні шлаки металургійного виробництва, до складу яких входять оксиди кремнію, на перший погляд не зовсім підходять в якості добрива. Інші формули фосфорних добрив мають наступний зміст:

- $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4$ (гранульований або порошковий суперфосфат);
- фосфоритне борошно, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ з домішкою $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ та сполук заліза, алюмінію та ін.

Основною складовою конвертерного шлаку, який містить металургійний фосфор, є $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ в кількості 46%. З зернами $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ тісно пов'язана RO -фаза, що представляє собою твердий розчин вільних оксидів FeO , MnO , MgO , P_2O_5 у загальній кількості 25%. Проміжки заповнюються алюмоферитною фосфорною фазою. Фосфор у конвертерних шлаках в основному представлений фосфоритами, які містять пентоксид фосфору у вигляді: $(\text{FeO})_3\text{P}_2\text{O}_5$, $(\text{CaO})_3\text{P}_2\text{O}_5$, $(\text{MnO})_3\text{P}_2\text{O}_5$, $(\text{CaO})_4\text{P}_2\text{O}_5$.

Слід зазначити, що, незважаючи на деякі обмеження щодо кислотності добрив, відходи конвертерного виробництва можна віднести до заздалегідь підготовлених фосфорних добрив. У цих шлаках присутні практично всі компоненти фосфоритного борошна, особливо після їх сегрегації (табл. 8.12).

Таблиця 8.12 — Порівняння конвертерних шлаків і фосфорних добрив за хімічним складом

№	Компоненти	Конвертерний шлак, %	Фосфоритне борошно, %
1	Фосфоровмісний	0,67–4,7	17,0–20,0
2	Кальцієвмісний	41,5	30,0–35,0
3	Магнієвмісний	3,0–7,0	2,0–6,0
4	Кремнієвмісний	9,7	16,0–18,0
5	Алюмінієвмісний	5,5–6,5	0,5–2,0
6	Фторвмісний	–	0,6–2,3
7	Сульфідвмісний	1,37	1,0–3,8
8	Марганцевмісний	4,07–6,5	–
9	Залізовмісний	25,6	до 8,0

У конвертерному шлаку первинного наведення вміст пентоксиду фосфору може досягати 7–9% за масою [11, 12]. У відвальному шлаку він становить не більше 6%. Проте співвідношення компонентів у мінеральному добриві і в конвертерному шлаку є приблизно співставним. Звичайно, більш ніж п'ятикратна різниця для фосфору робить такі шлаки попередньо збагаченими, але реальними.

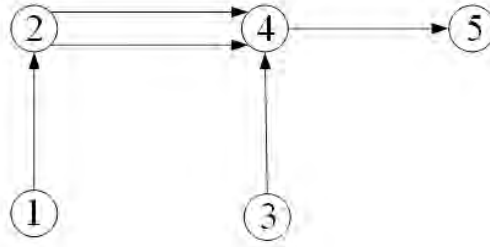
Необхідно прийняти умову, що реальна технологія переробки металургійної сировини повинна бути спрямована на переробку не тільки компонентів Fe_3O_4 , Fe_2O_3 або FeO в залізо, а й інших компонентів сировинної бази, зокрема фосфору з вихідного $(\text{X}) \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ хоча б у P_2O_5 .

Умовою повноти переходу фосфору з чавуну в конвертерний шлак є його плинність і висока температура [13, 14]. Тому ці особливості повинні бути обов'язковими для шлаку як технологічного продукту при пропонованій металургійній технології переробки фосфору. Плинність фосфорного шлаку може підтримуватися поза металургійним агрегатом за допомогою плавикового шпату. Однак при цьому відсутні механізми агрегації самого фосфору з рідинорухомого конвертерного шлаку. Ми все одно змушені мати справу з багатокомпонентним шлаком, в якому міститься необхідна кількість оксидів фосфору.

Далі ми будемо відносити свої інтереси не до всієї частини відпрацьованого шлаку, а тільки до тієї його частини, яка корелює з фосфором. Найпростіший спосіб використання таких фосфоровмісних компонентів у шлаках відноситься до сільського господарства.

Відомі технології отримання фосфорних добрив на основі природного фосфогіпсу з вмістом фосфору до 2%. Його цілком може замінити підготовлений конвертерний шлак, перероблений, наприклад, за технологією [15] за умови термічної обробки за рахунок теплоти охолодженого шлаку (рис. 8.7) і в присутності плавикового шпату. Тут проводиться подвійна термічна обробка при температурі 85–115 °С. Таким чином, можна розраховувати на умовне продовження технології конвертерної плавки, призначеної не тільки для отримання основного продукту — сталі заданого складу, але і готового фосфоровмісного добрива. Це вже інша металургія, ідеологічно спрямована на виробництво багатокомпонентної товарної продукції в ході єдиного технологічного процесу, спрямованого на більш ефективне використання ресурсів основного процесу.

Наприклад, відносно бідні фосфором конвертерні шлаки можуть у паралельному технологічному циклі перероблятися в ферофосфор і використовуватися в якості відновника заліза з оксидів. В даному випадку використовується теплота рідкого шлаку. Головною умовою такої технології може бути підвищення концентрації фосфоровмісних компонентів до умов традиційних добрив. Така продукція може знаходити подальше технологічне наповнення, наприклад, у вигляді отриманого жовтого фосфору [16, 17].



1 — фосфоровмісні шлаки, (2% P_2O_5); 2 — концентрована сірчана кислота;
3 — фосфоровмісна м'якоть; 4 — природний фосфогіпс; 5 — фосфорне добриво
(12%). P_2O_5

Рисунок 8.7 — Унікальна технологія переробки фосфору в рамках конвертерного виробництва

Значним ресурсом умовних металургійних фосфорних технологій (назвемо їх поки що так) може бути виробництво фосфіту PO_3 , який більш ефективно поглинається біологічною масою і може мати переваги перед фосфатами PO_4 . Поки що таких технологій не існує, але металургійна промисловість має до цього технологічні схильності, наприклад, у вигляді здатності підтримувати штучний дефіцит кисню при екстракції фосфітів.

Маємо бути впевненими, що за такими складними технологіями, або їх аналогами, майбутнє. Прийде час, коли людство почне більш відповідально підходити до проблеми однокомпонентних товарних продуктів, які отримують за допомогою найскладніших і енергоємних технологій, коли для їх реалізації апіорі буде використано багатокомпонентну сировину, велика частина якої не має товарної вартості і безповоротно втрачається. Це стосується не тільки металургії, а й хімії, технологій переробки вуглеводнів, видобутку корисних копалин, сільськогосподарської продукції та ін.

8.6. Поводження з відходами в сучасних технологіях крою

Процеси мінімізації утворення відходів у джерелах походження зручно розглядати за такими простими технологіями, як, наприклад, технології кроєння. Ці технології дуже поширені, широко відомі протягом багатьох тисячоліть, адже вони пов'язані з виробництвом одягу, взуття, землеустроєм, і мають свої традиції.

Сучасні технології крою займають свою ефективну нішу в якості складових в інших технологіях, наприклад, дизайні одягу, взуття, технічних тканинних предметів, а саме чохлів різного призначення, професійного одягу

і т. д., де потрібна висока уніфікація і висока повторюваність результатів виробництва [18]. Дуже специфічними є технології розпилювання деревини в меблевій промисловості. Ще складнішою є технологія оптимального крою скла, металу, полімерів.

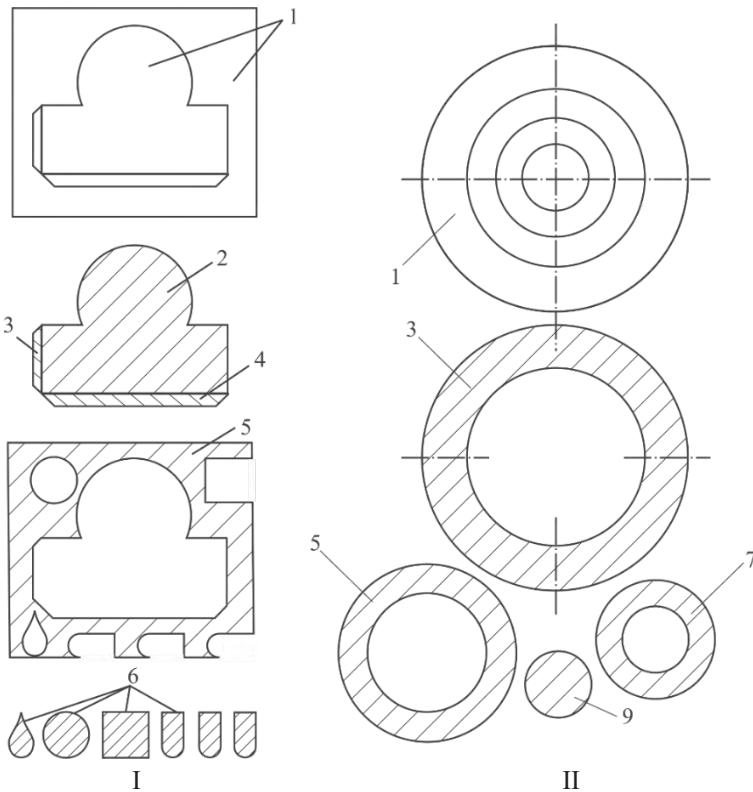
Як правило, сировинна база такої виробничої системи дуже проста і складається з одного компонента — кроєного матеріалу. Виробнича база за компонентною структурою збігається з сировинною базою і також зазвичай складається з одного компонента — одного і того ж матеріалу. За невеликим винятком, база відходів у такій системі також збігається за компонентністю з двома попередніми базами даних. Все це полегшує дослідження.

Процеси поділу матеріалу є невід'ємною частиною багатьох відомих технологій обробки заготовок, зокрема, обробки на металорізальних верстатах, всіх видів ручної обробки деталей напилками, стамесками, свердління, вишкрібання, вогневого різання, різання надзвуковим струменем рідини. В його основі лежить вищезгадана істотна особливість: сировина, вироби і відходи, як правило, однокомпонентні і являють собою один і той же матеріал, будь то метал або інша заготовка, стружка, ріжучий залишок або інше. Це значно розширює можливості мінімізації відходів у джерелі походження. Але це все одно вимагає істотних змін в існуючих технологіях.

Власне, технологія крою полягає в штучному поділі вихідної сировини на задалегідь промарковані частини (рис. 8.8). Методами технологічного різання та відповідними інструментами можуть бути ручний ножичний різ, механічний різак, електрогазове різання, матричне штампування, лазерне, струменеве, плазмове, ультразвукове різання тощо. До складу сировинної бази, як правило, входить одна початкова заготовка у вигляді полотна з певного матеріалу (метал, тканина, шкіра, гума, пластик і т. д.). В якості виробничої бази надходить або готова продукція, або напівфабрикати, які потім перетворюються в готову товарну продукцію з того ж матеріалу. Як правило, відходи технології різання — це залишки штучного виділення виробів необхідної форми з вихідної сировини, а також відходи пушіння матеріалів, якщо вони тканинні (табл. 8.13). Для технологій металів, наприклад, пуху немає.

Графопобудовна модель фактичної виробничої системи крою показана на рис. 8.9. Морфологічна таблиця такого орграфа наведена в табл. 8.14 [19].

Навіть такий простий порівняльний аналіз технологій тканинного та матричного крою дає уявлення про різні можливі способи мінімізації відходів у джерелі походження. Тканинний розкрій вимагає фіксованого розрізу, як правило, дуже нежорсткої сировинної заготовки, відділення залишку для подальшої обробки. А матричний крій, звичайно ж, після попередньої підготовки, дозволяє виробляти технологічні та однотипні деталі без відходів. Очевидно, що попередня підготовка такого крою буде пов'язана з власним утворенням відходів, але це вже будуть відходи в надсистемі.



I — технологія розрізного крою:

1 — вихідна заготовка (сировина); 2 — основний крій (вироби); 3, 4 — технологічні надбавки; 5 — залишок після крою (відходи); 6 — супутній крій (вироби).

II — технологія висічного крою:

1 — початкова гумова заготовка; 2 — шайба $\varnothing 60$ (вироби); 3 — шайба $\varnothing 40$ (продукція); 4 — шайба $\varnothing 24$ (продукція); 5 — прокладка $\varnothing 15$ (продукція).

Рисунок 8.8 — Геометрична модель технології крою.

Один з основних методів щодо такої операції — це матрично-перфораційне штампування шайб різних розмірів (див. рис. 8.8, II). Але таку операцію в більш точному виконанні можна провести за допомогою лазерного променя. Відділення продукції відбувається по сполучених краях, які попередньо обробляються або, після невеликої додаткової обробки, така деталь готова до використання (табл. 8.15). Техніка матрично-перфораційного крою ефективна тільки для невеликого спектру матеріалів, які мають властивості жорсткості, фіксації (наприклад, метали, пластмаси) і абсолютно непридатні для тканинних та шкірних матеріалів. Тільки останнім часом стали з'являтися жорсткі технології крою тканин [20, 21], зокрема, найсучасніші криогенні. Вони більш ефективні з точки зору

мінімізації відходів у джерелі. Такі технології з'являються сьогодні, і за ними майбутнє, як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Таблиця 8.13 — Система утворення відходів у технології прямого крою тканин

Сировина			Відходи		
Назва	Шифр	Всього%	Назва	Шифр	%*
Тканинна заготівка	C_1	100	Залишок після крою	R_1	10–25
Продукція			Продукти пушіння	R_2	0,1–0,5
Назва	Шифр	%*	Продукти випарювання	R_3	0,1–0,2
Готовий край	P_0	50–75	ВСЬОГО	$P_0 + P_i + \sum R_k$	100
Супутній край	P_1	15–40			

* — співвідношення мають значний розкид у залежності від особливостей технології.

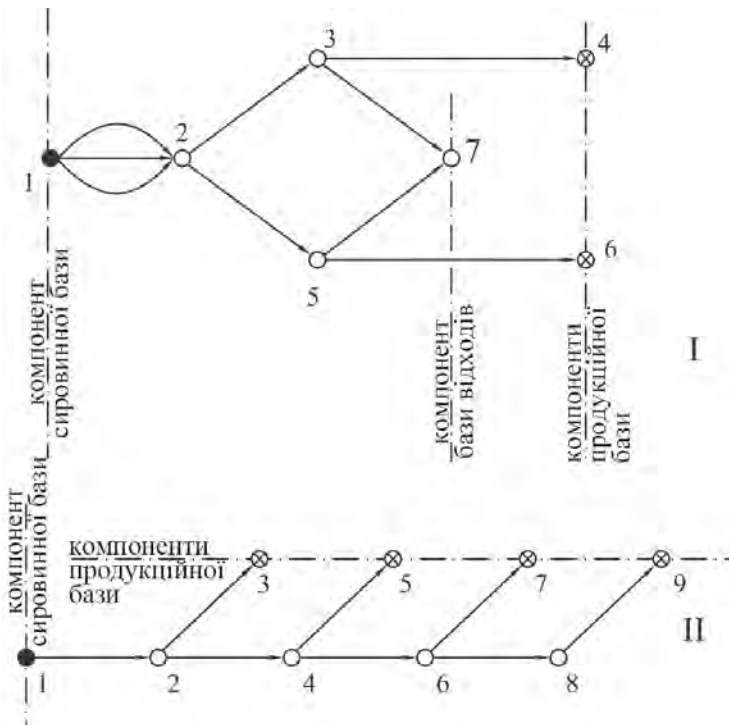


Рисунок 8.9 — Графопобудовна модель технології різання:
I — розрізного; II — матрично-пуансонного

Таблиця 8.14 — Морфологічна таблиця спрощеної моделі розщеплення різання

Вершини графа		Дуги графа	
№	Назва	№	Назва
1	Початкова заготовка (сировина)	1–2	Геометрична розмітка крою
		1–2	Розмітка технологічних елементів
		1–2	Розмітка супутнього крою
2	Маркована заготовка	2–3	Розріз основного крою
		2–5	Розріз супутнього крою
3	Розрізана заготовка (основний крій)	3–4	Виділення основного крою
		3–7	Відділення залишку
4	Готовий крій (продукція)		
5	Розрізана заготовка (супутній крій)	5–6	Виділення супутнього крою
		5–7	Відділення залишку
6	Супутній крій (продукція)		
7	Залишки крою (відхід)		

Таблиця 8.15 — Морфологічна таблиця спрощеної матрично-перфораторної схеми різання

Вершини графа		Дуги графа	
№	Назва	№	Назва
1	Заготовка (сировина)	1–2	Закріплення заготовки в матрицю
2	Матричний перфораторний механізм	2–3	Пробивання шайби № 1
		2–4	Фіксація залишкової заготовки № 1
3	Шайба № 1 (продукція)		
4	Залишкова заготовка № 1	4–5	Пробивання шайби № 2
		4–6	Фіксація залишкової заготовки № 2
5	Шайба № 2 (продукція)		
6	Залишкова заготовка № 2	6–7	Пробивання шайби № 3
		6–8	Фіксація залишкової заготовки № 3
7	Шайба № 3 (продукція)		
8	Залишкова заготовка № 3	8–9	Пробивання шайби № 4
9	Шайба № 4 (продукція)		

Процес утилізації відходів у технологіях крою дуже неоднозначний. Однокомпонентні матеріали для крою, такі як метали всіх видів, деякі види полімерів, підлягають утилізації, як правило, шляхом високотемпературного впливу. Основна

проблема пов'язана з тим, що дрібні відходи такого крою, навіть незважаючи на їх упаковку і пресування (наприклад, сталева стружка), потрапляючи в зону високотемпературних газів плавильного агрегату, швидко згоряють і видаляються разом із відпрацьованими газами, забруднюючи атмосферу у вигляді незворотних втрат.

Інші поліамідні і полістирольні матеріали, після крою, як відходи, утилізуються тільки після дроблення і використовуються, наприклад, як пасивні наповнювачі, оскільки період їх розкладання іноді вимірюється тисячоліттями [21]. Тканину, плетені та інші подібні відходи технології крою (наприклад, вовни, інших видів тканини, шкіри) можна утилізувати тільки як допоміжний матеріал, у вигляді ганчірок, деяких видів одноразових фільтруючих матеріалів, специфічного наповнювача і — більш нічого.

В цілому виробничі системи, призначені для крою більшості матеріалів, мають свої методи мінімізації відходів, але це виробництво ще далеко не безвідходне. Основні методи мінімізації відходів у джерелі утворення тут пов'язані з управлінням геометричними параметрами заготовки шляхом оптимізації й узгодження розмірів майбутніх корисних продуктів з геометричними розмірами вихідної сировини, щоб для конкретних узгоджених геометричних параметрів, що належать сировинній заготовці «С» — (x_i) і майбутній продукції «Р» — (y_k) , була виконана найпростіша умова

$$\lim_{x_i \rightarrow y_k} (x_i - y_k) = 0. \quad (8.9)$$

Мета, яку можна поставити заради мінімізації відходів у джерелі їх походження, на перший погляд, проста: забезпечити відсутність залишків крою. Одним з істотних емпіричних методів мінімізації таких відходів « R_1 » є одночасне використання розкрійних залишків для отримання додаткових або супутніх частин крою з одного і того ж матеріалу. При цьому виконується умова мінімізації крою (8.9). Іноді таке можливо, наприклад, коли сировиною служить розкрійний лист (наприклад, метал), з якого штампується велика кількість строго означених деталей, геометричні розміри яких строго відповідають габаритам вихідної сировинної заготовки. А мінімальний залишок такого листа, структурований малюнок якого може мати додаткове смислове навантаження, направляється для декоративних цілей, як корисний продукт, наприклад, для декоративних огорож, в художньо-прикладних сферах діяльності, для декоративних накладок і вставок в існуючі конструкції з метою надання їм естетичного вигляду. У цьому випадку ефективним є узгодження форми основного виробу — штампувальних деталей і форми залишкового матеріалу, який продається як декоративний. Таких технологій багато. Ще один підхід полягає в утилізації розкрійних залишків у вигляді переплавленого металу (особливо якщо це кольоровий метал). Але цей метод не відноситься до тих, які потрібні в даній роботі.

Мінімізація відходів у джерелі походження вимагає іншого підходу до самої технології. Наприклад, використання інших джерел енергії в системі (табл. 8.16), застосування автоматичних систем крою.

Таблиця 8.16 — Додаткові джерела енергії для переробки первинних відходів у технологіях різання

Шифр відходу	Назва відходу	Технологічний процес	Енергія	
			ΔE_i	Тип використовуваної енергії
R_1	Візерунковий залишок	Розріз, тиснення та ін.	ΔE_1	Енергія механічного тиску (розріз, тиснення та ін.)
		Тепловаобробка	ΔE_2	Теплова енергія, енергія лазерного променя, електромагнітна енергія
R_2	Продукти пушіння	Витягування, всмоктування, фільтрація, очищення	ΔE_3	Вакуумування, зниження тиску повітря в області пушіння, механічна сепарація

Зокрема, відомі моделі автоматизованого крою, коли комп'ютер розраховує розкроювання без маркування на вихідному матеріалі за загальним рівнянням $\sum P_i \rightarrow C_n$. При цьому $\sum R_k = (C_n - \sum P_i) \rightarrow 0$. Тут параметри « C », « P » і « R » позначають бази сировини, продуктів і відходів відповідно. Індекси « n », « i » та « k » вказують на порядок компонентності відповідних матеріальних баз. Автоматизовані технології крою не передбачають окремої геометричної розмітки оригінального аркуша. Розрахунок ведеться за заданими програмами, які засновані на умові мінімізації відходів у самому процесі крою [23]. При цьому геометричні розміри всіх ріжучих частин узгоджуються між собою і з геометричними розмірами заготовки сировини за рівнянням (8.9). Така технологія вимагає розвиненого виробництва з розвинутою номенклатурою одноструктурних деталей, що випускаються, з яких комп'ютерна програма здатна здійснювати узгоджені дії. Програми типу «Базис-розкрій», сімейство програмного забезпечення *CUTTING*, розробленого для оптимального з точки зору мінімізації відходів крою, програми «*Astra-D*», «*Best-Cut*», «*Cutting Optimization PRO*» [24] дають уявлення про такий спосіб мінімізації відходів шляхом часткового їх зменшення в джерелі виникнення, тобто в ході самого виробничого процесу.

Однак такі системи не надають можливостей для повної ліквідації речових відходів у джерелі походження.

Повторимося, що оптимальний підхід до мінімізації відходів у джерелі їх походження полягає у використанні раціональних зовнішніх джерел енергії, які відсутні в даній виробничій системі, наприклад, енергії лазерного випроміню-

вання, енергії локального теплового впливу, енергії стисненої води або інших речовин, енергії електромагнітного випромінювання та ін., в залежності від матеріалу, що кроїться.

8.7. Мінімізація ентропії в технологіях листового кроєння як показник зменшення відходів у джерелі походження

Основне завдання мінімізації відходів шляхом їх зменшення у джерелі походження — технологічному процесі, вирішується забезпеченням умов для переведення всієї сировинної бази по відношенню до використовуваної енергії в сильно нерівноважний стан. Розглянемо, як реалізується цей принцип за технологією кроєння листового матеріалу.

Однією з важливих складових сучасного машинобудування є заготівельне виробництво, в тому числі технології крою, орієнтовані на максимальне використання бізнес-відходів металопрокату. Найпростіший приклад: значне розширення технологічних можливостей термічного різання листового металу дозволило збільшити коефіцієнт використання металу на 22–28% [25]. Однак при будь-якій витраті листового металу для отримання ріжучого матеріалу виходять відходи.

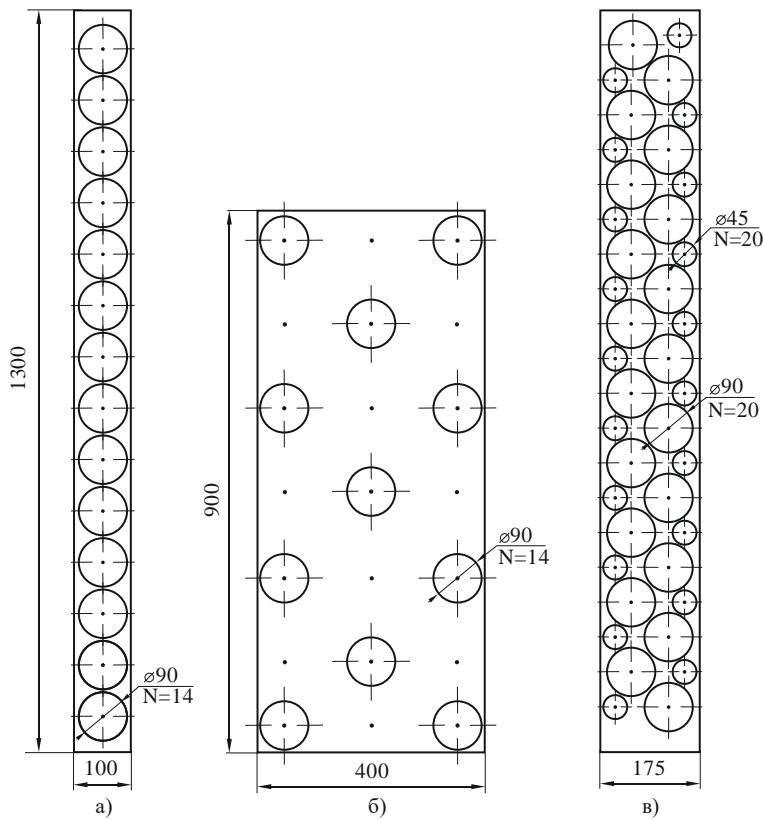
Як приклад розглянемо найпростішу процедуру оптимального розкрою металевого листового заготівельного полотна на шайби різного діаметру (рис. 8.10) з метою отримання мінімальних відходів у вигляді залишків заготівельного полотна. Існує величезна кількість комп'ютерних програм, які дозволяють оптимізувати розкрій таким чином, щоб мінімізувати втрати і отримати більше корисних продуктів і менше відходів для виробника [26, 27, 28]. Зокрема, це такі програмні продукти, як системи «Ріжучий модуль», «Intex-Cutting» та інші.

В якості основного параметра в таких завданнях, як правило, береться значення часток площі матеріалу, які йдуть на корисні вироби, в даному випадку — шайби (F_1), і на відходи — береться залишкове полотно (F_2). Граничне

значення співвідношення в формі
$$= \frac{1}{1 + F_2/F_1}$$
 має дорівнювати 1. На практиці

ця пропорція завжди менше 1. Наприклад, для будь-якої комбінації шайб круглої форми $\lim = 0,69$. Це емпіричне обмеження заповнюваності первинного полотна. Тобто 31% металевого полотна завжди буде витрачатися даремно, у відходи.

Спробуємо відійти від цього параметра, як визначального, в довільному напрямку. За основу візьмемо залишковий малюнок, який виходить при прорізанні наскрізних отворів у заготівельному полотні. Сміслові наповнення такого «світлового малюнка» може мати споживчу якість, наприклад, у рекламних цілях (рис. 8.11).



- а) $F_1 + F_2 = 0,13 \text{ м}^2$, $F_1 = 0,09 \text{ м}^2$, $F_2 = 0,04 \text{ м}^2$, $\eta = 0,69$;
 б) $F_1 + F_2 = 0,36 \text{ м}^2$, $F_1 = 0,09 \text{ м}^2$, $F_2 = 0,27 \text{ м}^2$, $\eta = 0,25$;
 в) $F_1 + F_2 = 0,23 \text{ м}^2$, $F_1 = 0,16 \text{ м}^2$, $F_2 = 0,07 \text{ м}^2$, $\eta = 0,695$.

Рисунок 8.10 — Приклади оптимального розкрою заготівельного листа для отримання круглих шайб

Розмір отворів, які залишаються після нарізки шайб, впливає на пропускання світла через такий залишок початкового полотна. Для додання йому якості товарної продукції пропонується формувати світлопропускання через залишок такого полотна у вигляді прикладного художнього твору, де світлі і темні тони і півтони визначаються кількістю і діаметром отворів у різних частинах матриці залишкового полотна. Чим більше отворів або більший їх діаметр, пропускання світла через цю частину полотна вище — зображення здається світлим. І навпаки, чим менша кількість отворів на одиницю площі залишкового полотна, і чим менший їх діаметр, тим менше світлопропускання і ця область здається темнішою. Таким чином, на залишковому полотні можна сформувати необхідні силуети, малюнки заданої тональності, видимі на світлі. Наприклад, послідов-

ність щільно підігнаних отворів з певної відстані може мати вигляд на просвіт як довільна лінія силуету і т. д.

Тому основний параметр для сприйняття такого малюнка на відстані залежить від інтенсивності світла джерела, пропущеного через наше залишкове металеве полотно, яке фактично стає специфічним квазіджерелом світла. Критерієм є щільність отворів на одиницю площі залишкового полотна, відформатованої спеціальним чином (за допомогою комп'ютерної програми). Рішенням цієї проблеми слід вважати умову пропускання світла через полотно з отворами необхідного розміру після нарізки шайб. Наприклад, сегментний фрагмент зображення троянди в масштабі розрахункової матриці залишкового полотна (див. рис. 8.11) повинен враховувати параметри, зазначені в табл. 8.17. Вихідні дані: F_1 — загальна площа шайб необхідних розмірів, F_2 — площа матриці залишкового полотна (це вже не відходи) після отримання основної продукції (шайб); $F_1 + F_2$ — загальна площа первинного полотна для отримання шайб.

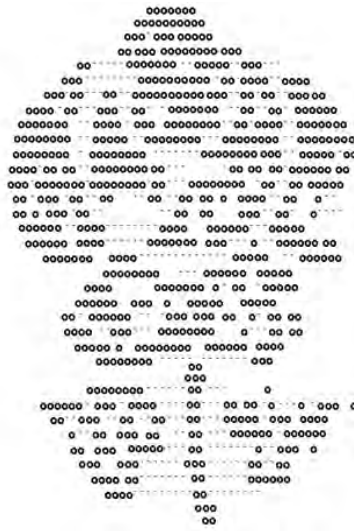


Рисунок 8.11 — Приклад сегментарної моделі художнього зображення (троянди) на рівній поверхні шляхом виділення круглих шайб (кількість шайб 850 при діаметрі $\varnothing 32$ і 400 шайб діаметром $\varnothing 8$); $F_1 + F_2 = 1,30^2$, $F_1 = 0,701^2$.

$$\text{Розмір листа: } 1 \times 1,30 \text{ м.} = \frac{F_1}{(F_1 + F_2)} = 0,54.$$

Варто відзначити, що розмір розрізаних шайб і їх кількість регламентується замовником, а їх розподіл на рівній поверхні визначається комп'ютерною програмою.

Модель процедури отримання металевих шайб необхідного діаметру в потрібній кількості з умовою відсутності відходів у вигляді залишкового металевого полотна виглядає наступним чином (8.10) ÷ (8.13).

Таблиця 8.17 — Показники, що визначають граничні умови формування замовлення на шайби і залишкового полотна у вигляді витвору мистецтва

№	Назва параметру	Сировина	Продукція	Відхід
1	Задані діаметри номенклатури шайб	–	d_1, d_2, \dots, d_i	–
2	Кількість шайб необхідного розміру	–	n_1, n_2, \dots, n_i	–
3	Параметричний коефіцієнт частки	$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{F_1}{1}$	$\frac{1}{F_2}$
4	Щільність отворів на одиницю площі матриці (визначається комп'ютерною програмою)	0	–	$\frac{\Delta F_1}{\Delta(F_1 + F_2)}$
5	Розподіл світового потоку через відформатовану матрицю (визначається комп'ютерною програмою)	0	–	$\frac{\Delta\Phi_{v_1}}{\Delta\Phi_{v_{1,2}}}$
6	Підсвічування через відформатовану матрицю	0	–	E_2
7	Опосередкована характеристика відношення приведених енергій переміщення лазерної головки	–	$\frac{e_1}{e_0}$	$\frac{e_2}{e_0}$

1. Умова досягнення необхідної освітленості через матрицю залишкового полотна з урахуванням коефіцієнта пропорційності k_p , отриманого в якості експериментальної величини

$$E_1 = k_0 \frac{1}{1 + F_1/F_2}. \quad (8.10)$$

2. Баланс світлового потоку через отримані отвори різного діаметру, впорядковані за програмою візуалізації, має наступний вигляд:

$$\Phi_v (1 - 0,25 \sum_i n_i d_i^2) = \Phi_{v_{1,2}} \left(\frac{F_1}{F_2} \right). \quad (8.11)$$

При цьому для матричного фрагменту ΔF повинна зберегтися умова

$$\frac{n_{i-1}}{n_i} = \frac{F_i}{F_{i-1}}, \quad (8.12)$$

або $n_1 F_1 = n_2 F_2 = \dots = n_i F_i$.

3. Граничною умовою пропускання світла через полотно з отворами необхідного розміру після прорізання шайб і нанесення отворів на фрагмент матриці залишкового полотна dF є залежність

$$E \leq \frac{d\Phi_{v_{1,2}}}{dF_2}, \quad (8.13)$$

де відношення світлового потоку $\Phi_{v_{1,2}}$ до площі отворів F_2 відрізняється за своєю властивістю від сенсу освітлення.

Програмний продукт, що дозволяє реалізувати поставлене завдання, представлений структурною схемою (рис. 8.12).

В результаті отримуємо готову продукцію у вигляді потрібної номенклатури шайб необхідного діаметру, а також прикладний витвір мистецтва у вигляді матриці з зображенням на ній малюнком із тонів і півтонів, які видно крізь світло на цієї матриці. При цьому кількість отворів і шайб різного діаметру відповідає щільності світла, що пропускається через одиницю площі полотна (рис. 8.13). Цим досягається повна відсутність відходів за такою технологією.

Джерела енергії, що використовуються в технології веб-фрагментації, такі:

ω_0 — приведена до загальної кількості шайб енергія лазерного променя, що зводиться для крою шайб потрібного діаметру в заданій послідовності. Залежить тільки від загальної довжини окружності всіх шайб і товщини полотна;

e_0 — приведена до площі крою початкового полотна ($F_1 + F_2$) енергія послідовного переміщення лазерної головки для крою наступної шайби за стандартною технологією кроєння;

e_1 — приведена до площі крою початкового полотна енергія впорядкованого переміщення головки джерела лазера до необхідного фрагменту матриці для програмованого формування зображення за допомогою отворів потрібного розміру;

e_2 — приведена до площі крою початкового полотна енергія впорядкованого руху лазерної головки при послідовному крою шайб потрібного розміру. Для нашої технології це $e_1 = e_2$;

$\Phi_{v_{1,2}}$ — інтегральний світловий потік, що проникає через оброблену цільовим методом матрицю залишкової частини полотна після її формування.

В якості опосередкованої енергетичної характеристики, яка дозволила використовувати матрицю залишкового полотна у вигляді корисної продукції завдяки стану її сильної термодинамічної нерівноважності, слід прийняти співвідношення приведених енергій $e_1/e_0 \leq 1,0$. Очевидно, що це співвідношення в звичайному варіанті не повинно бути вище одиниці. Однак можна показати, що таке співвідношення може бути й іншим. Розглянемо приклад, що ілюструє цю преамбулу.

Завдання. Для металевого полотна товщиною 0,8 мм, розмірами 3000×1500 необхідно отримати 100 шайб ($\varnothing_1 = 15$ мм), 15 шайб ($\varnothing_2 = 7,5$), 100 шайб ($\varnothing_3 = 5$). Залишкове полотно повинно містити заданий зразок певної яко-

сті для зовнішньої реклами, володіючи, таким чином, властивістю споживчої вартості. І без відходів.

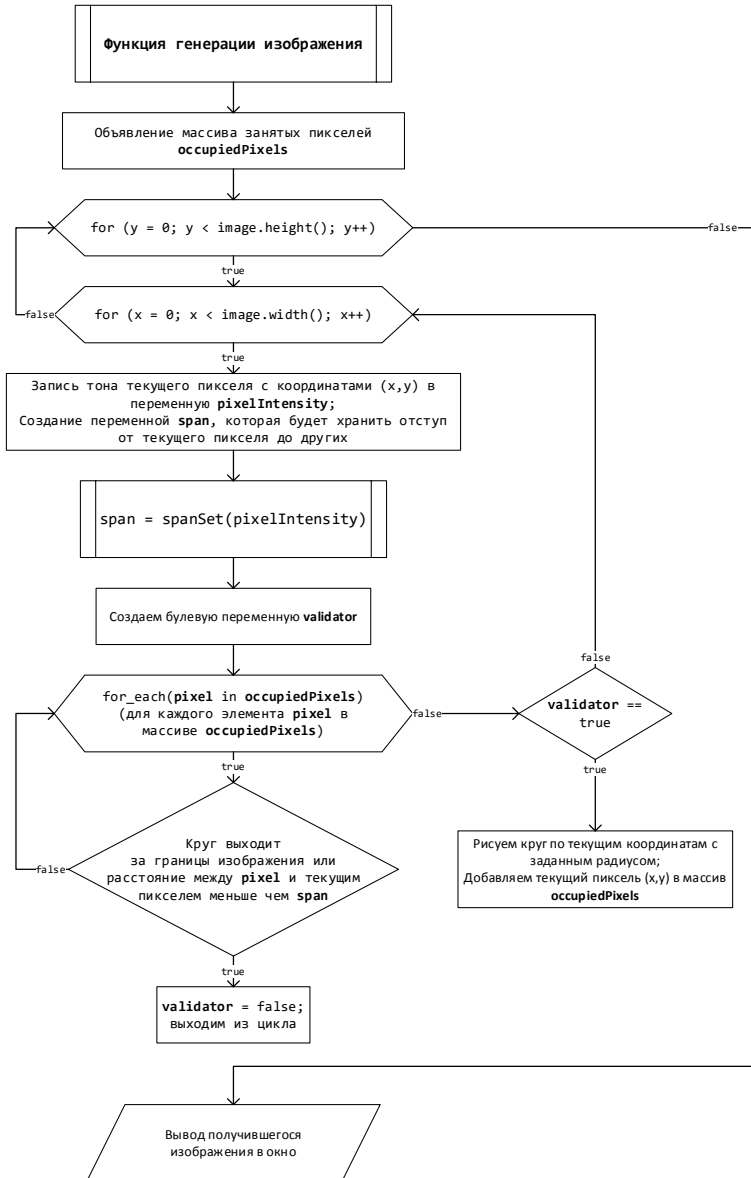


Рисунок 8.12 — Структурна схема програмного продукту технології проектування і виготовлення металевих шайб на основі *imageToCirclesConverter* (автор програми Гарін Є. Б.)


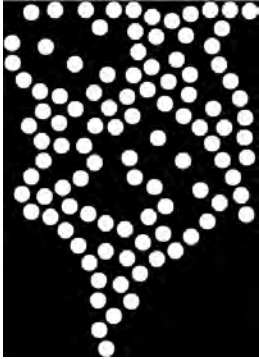
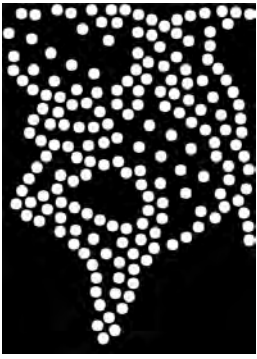
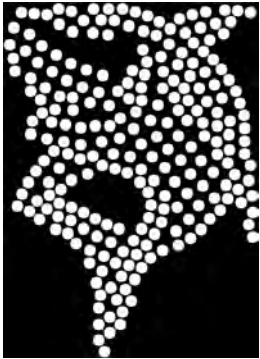
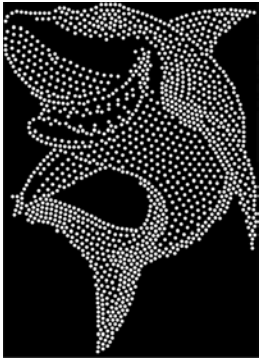
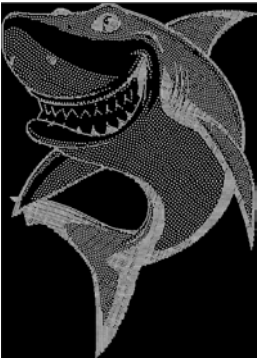
<p>Вихідне зображення Ширина: 2,2 м Висота: 3,06 м Площа зображення: 6,73 м²</p> 	<p>Радіус кола: 7 см Коефіцієнт відступів: 10 Кількість кіл: 103 шт. Площа всіх кіл: 1,58 м² Щільність кіл: 23,52%</p> 	<p>Радіус кола: 5 см Коефіцієнт відступів: 10 Кількість кіл: 183 шт. Площа всіх кіл: 1,44 м² Щільність кіл: 21,34%</p> 
<p>Радіус кола: 5 см Коефіцієнт відступів: 3 Кількість кіл: 242 шт. Площа всіх кіл: 1,9 м² Щільність кіл: 28,22%</p> 	<p>Радіус кола: 1,5 см Коефіцієнт відступів: 2 Кількість кіл: 1406 шт. Площа всіх кіл: 1 м² Щільність кіл: 14,62%</p> 	<p>Радіус кола: 0,5 см Коефіцієнт відступів: 1 Кількість кіл: 8029 шт. Площа всіх кіл: 0,6 м² Щільність кіл: 8,95%</p> 

Рисунок 8.13 — Реалізація програми отримання металевих шайб потрібних розмірів на полотні з фрагментарним зображенням. У цьому випадку замовленим зображенням є стилізована фігура акули

Візьмемо за основу лазерне виготовлення шайб із залізного початкового полотна необхідної якості і розміру. Умовна термодинамічна нерівноважність у даному випадку задається характером енергії руху лазерної головки. Якщо для отримання тільки шайб лазер поступово і послідовно рухається вздовж металевого початкового полотна, то в новій технології витрати енергії на складне та нерівномірне переміщення лазерної головки збільшуються за рахунок програмного

переміщення тієї ж головки в різних напрямках площини порожнього полотна. Для цих цілей ми використовуємо волоконно-лазерний верстат моделі SF3015M3 марки SENFENG. Проблема зводиться до загальновідомої задачі сегментарного оцифрування фігурного зображення на площині.

Таблиця 8.18 — Характеристики моделі волоконно-оптичного лазера машинного типу SF3015M3

№	Параметри	Значення
1	Площа робочої поверхні, м ²	0,045
2	Координати руху головки, мм	3000×1500×100
3	Потужність волоконно-оптичного лазера, Вт	1000
4	Потужність приводу каретки, Вт	1500
5	Вага рухомої каретки з лазерною головкою, кг	1,1
6	Максимальна швидкість руху каретки, м/с	0,12
7	Точність позиціювання, мм	±0,02

Рішення.

1. Розрахункові дані для загальноприйнятої «технології 1» крою полотна лазером:

– площа початкової поверхні полотна для виготовлення 215 шайб зазначеної номенклатури традиційним способом склала б (при максимально щільному різанні) $F_1 + F_2 = 0,03$ м²;

– загальна площа робочої поверхні полотна, використовуваного для шайб, $F_1 = 0,0203$ м²;

– геометричний шлях лазерної головки склав би 6,63 м;

– технологічний шлях лазерної головки (з урахуванням підготовчих і координатних рухів) склав би 7,12 м;

– розрахунковий час виготовлення 215 шайб за допомогою лазера $t = 55$ с;

– приведена енергія на виконання таких робіт $e_0 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ Дж / м²;

– опосередкована характеристика відношення приведених енергій переміщення лазерного променя для послідовного виробництва шайб буде $e_1/e_0 = 13,25$.

В результаті отримання 215 шайб залишкове полотно (відхід) має вагу 0,6 кг і має бути відправлено на плавку в сталеплавильний агрегат.

2. Розглянемо тепер «технологію 2» комп'ютерного кроєння шайб зазначеної номенклатури з метою отримання не тільки основної продукції, а й художнього зображення, нанесеного на металевому полотні розміром 0,3×0,15 м і площею 0,045 м² за допомогою програм сегментарного оцифрування. Вихідні параметри для розрахунку:

- загальна площа робочої поверхні полотна, використовуваного безпосередньо для шайб, залишається колишньою $F_1 = 0,0203 \text{ м}^2$;
- площа залишкового полотна, відповідно до програми розрахунку розташування всіх шайб, повинна бути не менше $F_2 = 0,0187 \text{ м}^2$;
- ступінь заповнення листа $\eta = \frac{F_1}{F_1 + F_2} = 0,52$;
- геометричний шлях лазерної головки становить 16,6 м, тобто він збільшується в $16,6/6,63 = 2,5$ рази.
- технологічний шлях лазерної головки (з урахуванням підготовчих і координатних рухів) склав вже 19,12 м;
- розрахунковий час виготовлення 215 шайб з лазером $t = 138 \text{ с}$;
- вага залишкового полотна становить 1,54 кг, тобто в 2,6 рази більше, ніж в традиційній «технології 1». Але це полотно має споживчу (естетичну) цінність і не є марнотратством;
- приведені до площі розкрою витрати енергії руху лазерної головки для отримання 215 шайб наданої номенклатури за запропонованою «технологією 2» склали $11 \cdot 10^{-3} / \dots$.

Енергетичні характеристики джерел, що використовуються в цій системі, наведені в табл. 8.19.

Таблиця 8.19 — Енергетика технології веб-крою

№	Джерело енергії	Характеристика енергії	Продукований компонент	Відхідний компонент
1	Лазерний промінь*	Теплова енергія, Дж	1000	1000
2	Перфораторний прес**	Ударна механічна енергія послідовної дії	1200	20
3	Лазерний промінь	Теплова енергія вибіркової дії, Дж	950	950
4	Перфораторний прес	Ударна механічна енергія вибіркової дії, Дж	200	200
5	Енергія руху інструмента	Механічний рух	100	150
6	Світлова енергія	Сила світлу	–	10

* — в разі лазерної обробки заготівельного листа;

** — для порівняння, у разі використання технології штампування для отримання шайб.

Збільшення значення e_1/e_0 в 2,075 рази в результаті збільшення траєкторії рухів лазерної головки по полотну свідчить про появу явного термодинамічного порушення рівноваги системи в цілому, чого слід було очікувати. Результати розрахунків наведені в табл. 8.20.

Для локальної температури $T = 293$ К зміна ентропії $\pm\sigma = \frac{1}{\tau}\Psi$ — залежить від ступеня розсіювання витраченої енергії і її корисної частини. В цьому випадку збільшення енергії, з якою обробляється полотно подвійного призначення: отримання шайб потрібного розміру і номенклатури, і формування запрограмованого художнього зображення на полотні в умовах сильної термодинамічної нерівноважності, дає нам процес упорядкування залишкового полотна, а значить, пов'язане зі зменшенням ентропії в «Технології 2» в порівнянні зі збільшенням ентропії в «Технології 1».

Таблиця 8.20 — Параметри термодинамічної нерівноважності для системи «полотно-шайба»

№	Параметр	«Технологія 1»		«Технологія 2»	
		e_0	e_1	e_0	e_2
1	Приведена до площі розкрою енергія для переміщення лазеру, Нм/м ²	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$11 \cdot 10^{-3}$
2	Опосередкована характеристика відношення приведених енергій переміщення лазерної головки, од.	$\frac{e_1}{e_0} = 13,25$		$\frac{e_2}{e_0} = 27,5$	
3	Приведена зміна ентропії системи, $\pm\sigma$, Нм/(м ² ·град·с)	—		$-2,075 \cdot 10^{-5}$	

Енергія руху лазерної головки, від якої залежить наш результат, змінюється в залежності від стану: або отримуємо безповоротній відхід у вигляді залишків полотна, або якийсь витвір мистецтва у вигляді організованого певним чином полотна; така енергія є зовнішньою по відношенню до нашої системи. І справедливим є вираз для негентропії (A) такої відкритої системи у вигляді $de_i = A_i + dS_i$. У нашому випадку негентропія, що пов'язана з виробництвом основної продукції (шайб), буде в точності відповідати негентропії, пов'язаній з виробництвом художнього полотна, тобто $A_2 = A_1$. Тоді векторна зміна ентропії з плином часу матиме вигляд.

$$\pm\sigma = \frac{d(S_1 - S_2)}{dt} = \frac{1}{e_0} \frac{d(e_1 - e_2)}{Tdt} = -2,075 \cdot 10^{-5}, \frac{\text{Нм}}{\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{с}}$$

Негативна зміна ентропії свідчить про те, що зовнішня енергія у виробничій системі повністю витрачається як на виготовлення шайб, так і на виготовлення художнього полотна. Результатом такої технології є виробництво двох видів виробів: шайб необхідного розміру і художнього полотна необхідного змісту, що має споживчу вартість. У виробничій системі відсутні речові відходи, залишаються втрати теплової енергії в навколишнє середовище.

Негативна зміна ентропії в результаті керованого процесу перетворення відходів у товарну продукцію в цій технології залежить від ефективності використання енергії зовнішнього впливу, а саме енергії переміщення лазерної головки за координатами поверхні полотна. Ця енергія визначається програмними умовами створення необхідної кількості отворів на одиницю матриці. Чим вища щільність заповнення такої матриці з отворами в заданій послідовності, тим більша умовна термодинамічна нерівноважність такої системи і тим менші витрати приведеної енергії на одиницю площі такої матриці. Тим нижча зміна ентропії такої системи. І навпаки. У межі: мінімальне заповнення матриці забезпечується мінімумом негентропії, а максимальна частина зовнішньої енергії при цьому буде розсіюватися, забезпечуючи збільшення ентропії всієї системи.

Є ще один параметр, характерний для нерівноважної поведінки всієї системи. Це товщина чистого полотна. Розмір, від якого залежить ефективність використання зовнішньої енергії. Чим вона більша, тим вищий час, витрачений на проходження лазерної головки за заданим алгоритмом і тим більша ентропія системи. Розрахункові та експериментальні дані представлені на рис. 8.14.

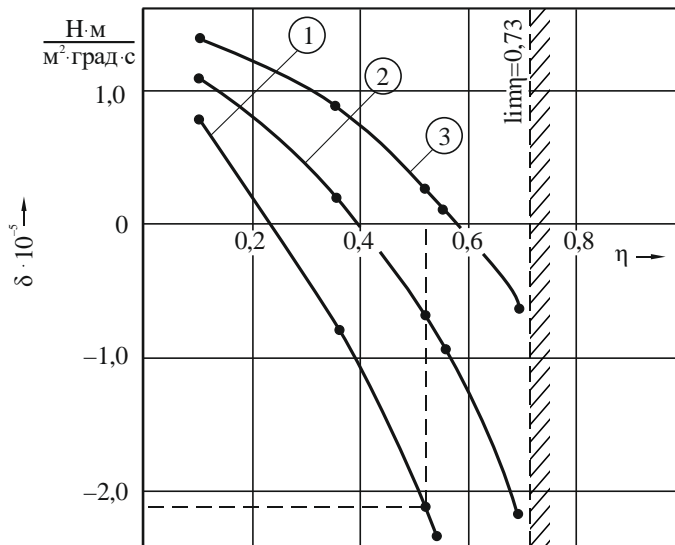


Рисунок 8.14 — Залежність зміни ентропії ($\pm\sigma$) в технології художнього різання за допомогою сегментного оцифрування від щільності заповнення отворами полотна і його товщини: 1) $\delta = 6$ мм; 2) $\delta = 12$ мм; 3) $\delta = 18$ мм

Ці дані дозволяють орієнтуватися в параметрах, що впливають на отримання оптимального рішення даної задачі. Така технологія може відноситися до виробництва певного різновиду штампувальних матеріалів різної конфігурації і розмірів з одночасним отриманням іншого товарного продукту — фрагментарного полотна з якимось художнім зображенням. Основною відмінністю даної технології є перетворення всіх компонентів вихідної сировинної бази в стан товарної продукції шляхом забезпечення умов термодинамічної нерівноважності по відношенню до наявних у технології енергетичних ресурсів.

8.8. Замкнутий цикл потоків утворення відходів у технологіях вирощування культурних рослин

Управління потоками відходів легко простежити на прикладі сучасних агротехнологій, спрямованих на використання бур'янів, які займають нішу, що перетинається з культурними рослинами в переліку споживаних мінералів, якими забезпечено ґрунт поля, що обробляється.

Культурні рослини і бур'яни. Це сусідні одна з одною в агрофітоценозах біологічні системи, призначення яких для людини є абсолютно протилежним. Людина культивує потрібні їй рослини і намагається знищити рослини і бур'яни, які їй не потрібні, розширюючи таким чином базу мікроелементів, які будуть видалятися з ґрунту в процесі розвитку саме культурних рослин. Але можна діяти й по-іншому, домогтися необхідного балансу з природними екосистемами. Наприклад, на Сардинії демонструють переробку будяку до олійного стану і перетворюють його в комплекс біохімікатів для подальшого повернення в той же ґрунт. При цьому мінеральний склад ґрунту зберігається на місці зростання цього бур'яну. Це забезпечує один із принципів «Блакитної економіки» Гюнтера Паулі: «Використовуй те, що маєш. Все має цінність, навіть відходи і бур'яни» [29].

Ключовою властивістю в забезпеченні безвідходного характеру такої біологічної системи може стати така форма взаємодії рослин, як їх аллопатична активність [30], що забезпечує кругообіг активних мінеральних елементів рослин. Ця властивість відіграє важливу роль в оновленні, розвитку і зміні рослинного різноманіття в єдиній області походження. Донорами фізіологічно активних речовин і мікроелементів в природі можуть бути як культурні рослини, так і бур'яни [31].

І культурні рослини, і бур'яни, в принципі, потребують із ґрунту для життєзабезпечення майже однакові групи мікроелементів. Причому різні бур'яни потребують індивідуального набору таких елементів. Але в сукупності набір дикорослих рослин, наприклад, у дикому степу, використовує практично весь спектр мікроелементів, які містяться в цьому ґрунті. І надалі, при їх розпаді,

в цьому ґрунті залишаються ті ж мікроелементи і практично в тому ж співвідношенні [32].

Мінеральний склад багатьох бур'янів майже не вивчений. У кращому випадку в літературі зустрічаються уривчасті відомості про хімічний склад тих елементів, які роблять ці рослини корисними, наприклад, у народній медицині або в сільському господарстві [30, 31, 32, 33].

Культурні рослини, в принципі, потребують фіксованого мононабору мікроелементів з одного і того ж ґрунту. Тут вони конкурують з тими бур'янами, які використовують одні і ті ж з ними елементи (табл. 8.21).

Таблиця 8.21 — Мінеральний склад деяких культурних рослин і бур'янів [32, 33]

№	Елементна група	Культурні рослини, %		Бур'яни, %	
		Картопля	Жито	Триреберник	Пирій
1	Калій	0,56	0,53	0,11	0,33
2	Магній	0,23	0,20	0,09	0,51
3	Кальцій	0,10	0,06	—	0,21
4	Натрій	0,28	0,03	0,04	0,07
5	Залізо	0,90	0,54	0,41	0,49
6	Марганець	0,17	0,28	0,21	0,11
7	Кобальт	0,05	0,008	—	0,02
8	Мідь	0,14	0,046	0,093	—
9	Цинк	0,36	0,20	—	0,09
10	Фосфор	0,058	0,37	0,14	—
11	Сірка	0,2	0,02	—	—
12	Кремній	0,67	0,03	0,11	0,92
13	Хлор	—	0,01	—	—

Поставлено завдання: як захистити поле від бур'янів певного типу і як залишити на полі набір мікроелементів, які потрібні необхідній культурі?

Нехай — масова частка M_i i -го мікроелемента в даному полі; m_i^k і m_i^c — масові частки i -го мікроелемента, що належать культурним рослинам і бур'янам відповідно. Найпростіша математична модель розподілу i -го мікроелемента, що необхідна для наших цілей, складається зі співвідношення

$$M_i = m_i^k + m_i^c \quad (8.14)$$

за умови, що $m_i^c = 0$, то $m_i^k = M_i$.

Якщо $n(i, l)$ — кількість мікроелементів, характерних для нашого поля, то загальна маса всіх мікроелементів, витрачених на зростання культури, дорівнює

$M_n^k = \sum_{i=1}^n m_i^k$, а загальна маса всіх мікроелементів, які витрачаються на зростання

бур'янів, дорівнює $M_n^c = \sum_{i=1}^n m_i^c$. Загальна маса мікроелементів для нашого поля

становить $M_n^c = \sum_{i=1}^n m_i^k + \sum_{i=1}^n m_i^c$. У той же час, умови

$$\sum_{i=1}^n m_i^c \rightarrow 0 \text{ та } \sum_{i=1}^n m_i^k \rightarrow M_n \quad (8.15)$$

є ключовими до забезпечення максимальної продуктивності нашого поля та перетворення його на потенційно безвідходне виробництво, принаймні для бур'янів та іншої непотрібної біомаси.

На практиці бур'яни знищуються, наприклад, шляхом їх суцільної прополки, складання і ліквідації. При цьому поле втрачає загальну масу і набір мікроелементів, які були для нього спочатку характерні. Поле виснажується для подальшого використання і вимагає штучного підживлення необхідними мікроелементами. Як варіант, бур'яни залишаються в полі, гниють до майбутнього обороту, залишаючи мікроелементну базу на цьому полі. Але в той же час насіння суцвіть бур'янів, їх кореневі системи, які володіють стійкими здібностями до самовідновлення у ґрунті, дають можливості для вторинного зростання в наступному році, навіть після прополки, і конкурують із культурними рослинами цього поля в споживанні необхідних мікроелементів.

Ми будемо виділяти з цієї системи тільки набір мікроелементів, які беруть участь у кругообігу, щоб направляти потік цих мікроелементів на культурні рослини і штучно відсікати його від живлення бур'янів. Вони присутні і в культурних рослинах, і бур'янах. Вони необхідні обом.

Якщо брати до уваги той факт, що всі рослини здатні до саморозвитку, завдання можна звести до стимуляції росту культурних рослин і пригнічення бур'янів, забезпечивши при цьому збереження набору і кількості мікроелементної бази даного поля.

Бур'яни — це умовно деревна субстанція, що включає масу $\sum_{i=1}^n m_i^c$ з n видів мікроелементів, які в природному вигляді можуть піддаватися гідратації з метою розщеплення в ґрунті.

Бур'яни можуть служити джерелом відновлюваної сировини, що постійно і щорічно утворюється за рахунок енергії фотосинтезу, вуглекислого газу і води, та можуть служити основою для отримання деякого субстрату для мікробіологічного синтезу з поділом на композицію мікроелементних складових, потреба в яких завжди висока.

Найпростіший спосіб вирішити рівняння (8.14) в реальному часі — це змусити бур'яни віддавати свою мікроелементну базу у ґрунт поля, при цьому включаючи будь-яке власне зростання, тим самим забезпечуючи безвідходність такої системи. Тобто маса бур'янів не повинна мати можливості відростати ні за допомогою суцвіть і насіння, ні за допомогою регенеруючої кореневої системи.

Відомі методи придушення репродуктивності біомаси шляхом її кислотного гідролізу, включаючи автогідроліз (без додавання кислотного каталізатора) [32]. Але в будь-якому випадку продукти окислення створюють стійке кисле середовище і, потрапляючи у ґрунт, сприяють зростанню його окислення і вимагають подальшого залуження цього ґрунту.

Відомий ще один метод пригнічення біологічної маси — гідроліз рослинної сировини з одночасним впливом спиртовмісних компонентів з метою утилізації мікроелементної бази бур'янів для подальшого використання. Такі компоненти, як оксиметилфурфурол, можливі лінгогумінні компоненти, можуть значно сповільнювати, а разом зі спиртовими компонентами повністю зупинити зростання клітин бур'янових рослин у гідролітичному стані. Зміст цих компонентів для пригнічення росту біомаси має становити не менше 0,1% від загальної маси бур'янів. Зміни температурного режиму бродіння сприяють підвищенню ефективності процесу.

Технологія включає в себе виробництво етилового спирту шляхом додавання спиртових дріжджів у гідролітичну масу бур'янів в кількості не менше 6% від маси і глюкозу в будь-якому вигляді не менше 5% від маси. Функцію дріжджових компонентів спрощено може виконувати верховий торф зі ступенем розкладання не більше 20%. Він містить не менше 50% полісахаридів і 20% уронових кислот. В умовах так званого м'якого гідролізу більше 80% уронових кислот торфу самостійно переходять у розчин біомаси і, декарбоксилуючись, перетворюються в активні пентози. Крім того, торф, який містить фосфор і азот, стимулює насичення ґрунту цими мікроелементами. Функцію дешевої глюкози можуть виконувати, наприклад, відходи цукрового виробництва — бурякова патока, меляса, що містить до 46–51% сахарози.

Суміш підлягає гідратації в закритому режимі і подальшому бродінню спиртовмісних компонентів. Біологічно пригнічений склад, через проміжок часу, рівний припиненню бродіння всієї біомаси, рівномірно розподіляється по полю у вигляді концентрованого добрива, що містить всі вихідні мікроелементи в кількості $\sum_{i=1}^n m_i^c$, які потім використовуються для підживлення культуриваної частини вирощуваної біомаси. Таким чином, умова (8.14) для нашої моделі виконується.

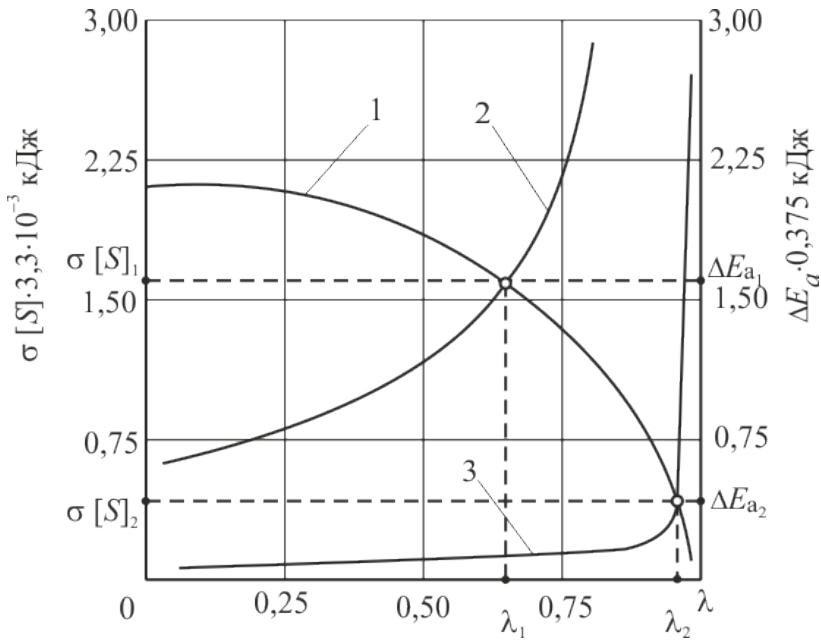


Рисунок 8.15 — Визначення умов порівняння утилізації маси бур'янів при маловідходних технологіях біологічного розкладання і спиртового бродіння

Неважко побудувати феноменологічну криву Л. Онсагера (рис. 8.15, крива 1) як відображення змін втрат енергії, через їх ентропію, пов'язаних із процесами біологічного розкладання й окислення біомаси бур'янів за методикою, описаною в п'ятому розділі. У порівнянні з нею наведемо залежності зміни енергії активації при цих реакціях (крива 2) і одночасно, в реакції спиртового бродіння глюкози (крива 3, розрахована за даними [32, 33, 34], див. рис. 8.15).

Розрахункове значення зміни швидкості реакції біологічного окислення і спиртового бродіння біомаси за рівнянням Арреніуса дорівнює

$$\lg\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{E_{a_1} - E_{a_2}}{2,3RT} = \frac{4,267 - 0,571}{2,3 \cdot 8,31 \cdot 10^{-3} \cdot 298K} = 0,6509. \quad \text{Звідки співвідношення}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = 4,55. \quad \text{Тобто реакція спиртового бродіння утилізованої таким чином маси}$$

бур'янів сприяє майже п'ятикратному прискоренню їх гальмування і повернення їх мікроелементної бази в ґрунт у порівнянні з біологічним розкладанням. При цьому енергоентропіка такої технології мінімальна (на кожен кілограм переробки в порівнянні з $[S_1] \approx 5,35 \text{ } /(\cdot K)$, див. рис. 8.15), що вказує на більш високий ступінь енергоефективності та якість організації такого процесу. При такій технології слід очікувати найбільш повного переходу мікроелементної бази, утилізованої таким чином біомаси бур'янів, назад у ґрунт (при рівномірному

її розподілі). Таким чином, можна забезпечити максимально можливий ступінь утилізації відходів у технологіях вирощування зернових.

Слід зазначити, що в даній роботі ми використовували лише непрямі статистичні дані, що дозволили проаналізувати різні аспекти порушеного питання з певною похибкою. Тому числові результати можуть мати певний розкид точності. Однак це ніяк не впливає на суть розв'язуваної проблеми в її якісному розумінні, яке ми мали намір довести до відома читача.

Це один з багатьох прикладів, які показують, що управління потоками відходів може бути ефективним способом їх мінімізації в різноманітних умовах. Можна віднести до методів вирощування грибів на біомасі утилізованої кавової гущі, лише 0,2% з якої ефективно використовується при виробництві самої кави, а 99,8% втрачається у вигляді безповоротних відходів. Аналогічним чином на острові Сардинія будяк традиційно використовується для отримання олії, збідненого цукру або целюлози [28].

В цілому недостатність і неефективність методів управління потоками відходів очевидна для найрізноманітніших сфер людської діяльності. Це є причиною багатьох негативних явищ в економіці, сучасному стані навколишнього середовища, приводить до соціальних перекосів у суспільстві. Слід визнати, що проблема управління потоками утворення відходів, в силу своєї поліваріантності і непомірно великої об'ємності, претендує на звання однієї з глобальних проблем сучасності. Загальновідома сучасна істина полягає в тому, що вміння управляти ресурсами означає одну з істотних можливостей оптимальної організації людського суспільства. Значною мірою це стосується потоків матеріальних відходів.

На жаль, такого напрямку, як ретроекологія, в науці немає. Дуже повчальні знання можна почерпнути в ретроспективі століть, коли виробнича діяльність людини не обмежувалася умовами збереження природного середовища. Стародавні технології для сучасників цікаві своїм тисячолітнім емпіричним досвідом, завдяки якому вони шліфувалися, досягнувши для деяких з них практичної безвідходності. До таких, зокрема, відносяться раніше розглянуті харчові технології виробництва вина і сиру, а також багато будівельних технологій, яким ми присвятимо подальші розділи.

9.1. Особливості будівельних галузей і виробництва будівельних матеріалів для переробки накопичених відходів

Будівельна галузь, як одна зі сфер життєдіяльності людини, народилася і розвивалася гармонійно з тваринним світом, з людиною. Кінцевим результатом всіх будівельних процесів є штучні будівлі, споруди, дороги, підприємства, створення яких пов'язано з природними умовами проживання людей і природними матеріалами місцевості, рівнем розвитку соціальної науки і техніки, характерним для певних епох. Технологічні процеси зведення будівель і споруд пов'язані з вибором будівельних матеріалів, несучих конструкцій і засобів їх з'єднання.

Зі зміною епох змінювалися і підходи до проєктних рішень щодо зведених будівельних конструкцій, розширювалася їх номенклатура, але незмінними залишалися природні матеріали, натуральні будівельні матеріали, а з розвитком технологій будівництва стали використовуватися штучно вироблені будівельні матеріали і вироби. В тому числі, як данина минулому, до роботи знову залучаються давно забуті будівельні матеріали, від яких людина колись відмовилася на користь більш технологічних і більш дешевих штучних матеріалів. Наприклад, сніг, лід, натуральний камінь, деревина і т. д.

Природні будівельні матеріали отримують шляхом простої переробки природних ресурсів — корисних копалин, гірських порід і порід дерев (табл. 9.1) тощо. Їх класифікують на два типи:

- ліс, всі види деревини;
- гірські породи, а саме — природний камінь, глина, валуни, пісок, гравій, вапняк, пісковик, граніт, базальт.

Натуральні будівельні матеріали використовувалися людиною як у природному стані, так і після певної переробки, в тому числі для створення нових будівельних матеріалів, таких як цегла, або цементобетонні вироби. Так, кам'яні природні будівельні матеріали (камінь, щебінь та ін.) використовувалися в натуральному стані або, шляхом їх обробки, створювалися нові будівельні вироби. З розвитком будівельних інструментів природні матеріали стали піддаватися певній обробці шляхом шліфування, сколювання, змішування, перетирання і т. д.

В якості інструменту для з'єднання конструкції використовувалися природні (глина, гіпс) або штучні (вапно, цемент) в'язучі речовини.

Будівництво будівель і споруд із натуральних будівельних матеріалів за своїм технологічним процесом можна віднести практично до безвідходного виробництва, а при обробці — до отримання корисного матеріалу або продукту: його будівельні відходи можуть складати тільки подрібнювальні залишки у вигляді піску і сміття, які також можуть бути використані в якості наповнювачів.

Будівельні відходи — це відходи, отримані в процесі будівництва, ремонту, реставрації, знесення будівель і споруд. При цьому багато відходів можуть використовуватися відразу в будівельній індустрії у вигляді наповнювачів або у вигляді буту. Якщо в минулому, коли будівлі і споруди зводилися тільки з натуральних матеріалів, будівельні відходи були безпечними для людини, то з переходом на технологічні процеси зведення будівельних конструкцій зі штучних будівельних матеріалів і виробів певну небезпеку для людини почали становити будівельні відходи, наприклад, азбестовмісні відходи, відходи, що містять органічні речовини і нафтопродукти.

Удосконалення інструментів, будівельної техніки та потреба в естетичному наповненні об'єктів будівництва поклали початок процесам масового утворення

Таблиця 9.1 — Коротка характеристика деяких природних будівельних матеріалів

№	Назва матеріалу	Характеристика	Термін користування*, рік
1	2	3	4
1	Деревина	Матеріал рослинного походження, використовується для виробництва дошок, колод, рейок, брусів, дерев'яних блоків і т. д.	250–300
2	Пісок	Дрібнодисперсний порошок, сипучий матеріал, що складається із зерен осадових порід, використовується в якості зміцнювального матеріалу для виготовлення бетону, розчинів	От 500
3	Глина	Складається з подрібнених піщанок гірської породи, при зволоженні стає пластичним матеріалом, при висиханні набуває твердості. Отримують цеглу, що використовується у виробництві цементу	100–300
4	Гравій	Камені, невеликі скелі, що утворилися в результаті руйнування гір	500–1000
5	Щебінь	Отримують шляхом дроблення гірських порід, використовують в якості зміцнювальної основи, а також у виробництві бетону	500–1000
6	Вапняк	Осадова гірська порода в основному органічного походження, використовується в будівельних роботах як сполучний і обпалювальний матеріал, а також у вигляді щебню, в скульптурному мистецтві	200–400
7	Пісковик	Уламкова осадова порода у вигляді зерен, черепашок. Застосовується як сполучна речовина, у вигляді облицювального матеріалу, бутового каменю, твердого щебню, цегли	Більш ніж 1000
8	Граніт	Щільна і міцна монолітна гірська порода, переважно магматичного походження. Використовується як облицювальний матеріал, мощення, в фундаментних та бутових роботах, в скульптурних роботах	Більш ніж 1000

* — оціночні дані

будівельних відходів як результату переробки натуральних матеріалів. При цьому усталена класифікація будівельних матеріалів у взаємозв'язку з їх корисністю в стародавніх технологіях будівництва може бути наступною:

1. Вихідні *натуральні матеріали* як основа оригінального будівництва.

Використовується:

- в первинному стані;
- після переробки у вигляді сировини.

2. Сировина для:

- *штучних будівельних матеріалів*;
- відходів, які в свою чергу поділялися на наступні відходи.

А саме.

3. *Відходи* будівельних матеріалів:

- *корисні*, що йдуть на подальшу переробку;
- *звалищні відходи*, використання яких у подальшому не передбачалося.

Слід зазначити, що дана класифікація майже не змінилася до нашого часу.

Корисні відходи використовувалися з певною користю і становилися своєрідними природними матеріалами для отримання нового якісного будівельного матеріалу. При повторному використанні таких відходів знижувалася залежність від використання первинних природних матеріалів, що, в свою чергу, позначалося на стані навколишнього середовища.

Відходи в стародавньому будівництві мали свою специфіку. Будівництво житла у древніх людей, які пристосовували до цього природні споруди (печери, гроти, скельні навіси, вітробар'єри, інші природні укриття, плюс допоміжні каміння, дерева, пісок або глина), було практично безвідходним. Згодом людина перестала задовольнятися природними укриттями і стала пристосовувати їх до проживання, шляхом добудування або створення нових укриттів в іншій місцевості. Це відразу позначилося на появі нових знарядь праці, що, в свою чергу, вплинуло і на техніку зведення такого житла, і на використання інших матеріалів на користь *штучних*, але не натуральних.

У гірській місцевості основним будівельним матеріалом ставав камінь, і в цьому випадку споруда залишалася майже абсолютно безвідходною. Якщо використовувалися похідні каменю, щебінь, пісок, гравій, вапняк і, звичайно ж, граніт, то виробництво отримувало як корисні відходи, так і звалища відходів, які, тим не менш, не заважали природі.

У лісовій зоні будували житла з гілок і тонких стовбурів дерев. Пізніше, з розвитком інструментів, стали з'являтися колоди, вироблені зі стовбурів дерев, пиляні дошки, планки, які використовувалися для будівництва більш складних житлових споруд.

У степових регіонах та на далекій півночі будівельний матеріал традиційно був у дефіциті. Житла будувалися з кісток і шкур великих тварин. Переробка цих матеріалів була практично відсутня, внаслідок чого будівництво було також

практично безвідходним. При цьому такі матеріали мали надзвичайно високу вартість і використовувалися століттями, поки природним чином не руйнувалися.

У північних районах основним будівельним матеріалом були снігові і крижані брили. Зведені житла в основному були захищені від вітру і були практично безвідходними.

Надалі у всіх регіонах Землі з розвитком зрарядь праці основним будівельним матеріалом ставав оброблений природний матеріал: камінь, дерево та їх похідні. У цей період стали з'являтися більш-менш масові сміттєзвалища. У той же час зростаючі потреби людини в естетичному благоустрою житла призводять до ще подальшого збільшення обсягів полігонів для відходів після вже спеціальної переробки існуючих природних матеріалів.

З подальшим розвитком технологій будівництва, коли в роботі були задіяні природний щебінь, вапняк, пісок та інші будівельні матеріали, в тому числі корисні відходи, які після певної обробки стають тим же матеріалом, з якого споруди були побудовані раніше, тільки трохи зміненим.

Деякі види найпоширеніших сучасних будівельних матеріалів:

– цегла — виріб правильної прямокутної форми, виготовлений з мінеральних матеріалів, що володіють властивостями каменю, його міцністю, водонепроникністю, морозостійкістю. Сировина для цегли залежить від місцевості, де вона виробляється. Найчастіше це випалені глини, рідше саман або, дуже рідко, необпалена глина. Виробництво практично безвідходне. Але після закінчення терміну служби цегла стає найбільш об'ємними відходами для будь-якої будівельної конструкції. Цегляний щебінь може використовуватися у виробництві крупнопористого бетону середньої щільності;

– бетон — це штучний кам'яний матеріал, отриманий із суміші в'язучих речовин (цемент, глина, вапно, гіпс, бітум, цемент, смола, скло та ін.) і заповнювачів (пісок, шлак, щебінь, гравій, природні матеріали та ін.). Бетон є основним споживачем корисного будівельного сміття. У свою чергу, бетонні відходи використовуються в якості будового матеріалу або іншого заповнювача в будівельних роботах;

– цемент — штучна неорганічна гідравлічна в'язуча речовина; є унікальним для утилізації багатьох промислових відходів, металургійних шлаків, твердих побутових відходів, золи різного походження;

– вапно — будівельний матеріал, отриманий шляхом випалу природних вапняків, крейди та інших гірських осадових порід. Є джерелом відходів вапнякового дріб'язку;

– деревина, як природний ресурс у сучасному будівництві, є найбільш утилізованою сировиною, відходи якої у вигляді тирси і стружки (до 12%), горбилів і гілок (до 14%), пнів і коріння (11%), кори, хмизу і листя (до 12%), має перспективу практично 100% утилізації у вигляді смолвмісних матеріалів ДСП, деревного пилу, використовуваного в якості деревного борошна, наповнювача для клеїв;

– скло — один з найдавніших будівельних матеріалів, похідний із силікатних природних матеріалів, пісковиків, який має властивість прозорості для видимого спектра випромінювання. Виробництво скла є своєрідним і унікальним «відходоутворюючим виробництвом», тому що природна утилізація отриманого продукту — скла, дуже складна;

– лід і сніг як штучні будівельні матеріали (не плутати з природним снігом і льодом) використовуються у вигляді снігових плит, крижаних брил штучного походження. Практично безвідходний будівельний матеріал. Мають короткий термін служби, але високий ступінь відновлення в залежності від пори року.

В цілому номенклатура сучасних штучних будівельних матеріалів дуже обширна і продовжує розвиватися, в тому числі, і в напрямку використання найрізноманітніших відходів життєдіяльності людини.

Ще в давній ретроспективі відходи стали проявлятися, особливо у великих кількостях, після знесення старих будівель, їх підриву, коли з'явилися величезні завали цегли, а пізніше бетону, металу, скла і т.д. Такі відходи майже ніколи не перероблялися і перетворювалися, за старою класифікацією, на величезну кількість звалищ. Деякі з них, що містять ті ж самі складові матеріали, піддавалися вторинній переробці, наприклад, бетон, залізобетон. Вони подрібнювалися і знову використовувалися в якості наповнювачів, будівельного щебню і т.д. Така переробка сприяла збереженню природних ресурсів і економії на виробництві нових матеріалів.

Сьогодні переробка будівельного сміття, при уявній простоті, є однією з найактуальніших проблем. У різних країнах успіхи істотно відрізняються (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 — Ефективність переробки та утилізації будівельних матеріалів і відходів в окремих країнах світу

№	Країна	Частка повторного використання відходів у будівельній галузі, %
1	Нідерланди	біля 90
2	Бельгія	87
3	Данія	81
4	Німеччина	55
5	США	47
6	Велика Британія	45
7	Фінляндія	43
8	Австрія	41
9	Казахстан	18
10	Україна	14
11	Росія	12

Причина таких відмінностей криється не тільки в розвинених технічних засобах переробки та утилізації корисних відходів і мінімізації відходів з полігонів. У розвинених країнах діє система законодавчих обмежень на виконання багатьох будівельних робіт, що забезпечують умови для мінімізації відходів всіх видів. Зокрема, у багатьох країнах ЄС полігони будівельного сміття заборонені, а переробка будівельного сміття за новими технологіями стає дуже прибутковим бізнесом.

В цілому будівельна галузь є найбільш перспективною для людства в плані освоєння вже накопичених промислових і побутових відходів.

9.2. Особливості технологій будівництва єгипетських пірамід з точки зору процесів утворення відходів

На всіх етапах історичного розвитку людства, починаючи з самого раннього, дотримання (навіть в оціночному варіанті) необхідних пропорцій у розподілі всіх видів ресурсів було однією з головних основ ефективної організації матеріального виробництва. Пошук методів і розробка відповідних механізмів, що реалізують цю функцію, супроводжує всю історію розвитку техніки і технології, хоча і усвідомлюється представниками практично всіх областей науки не достатньо чітко і повністю.

Вже не одне століття найдопитливіші вчені стурбовані таємницями єгипетських пірамід. Найрізноманітніші гіпотези сьогодні складають загальну картину діянь людей майже трьохтисячолітньої давності. При цьому піраміди або подібні їм об'єкти будувалися не тільки в Середземномор'ї. Це і Центральна Америка, Полінезія, Океанія, Індія та Африка [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Єдиними відмінностями є матеріали, доступність трудових ресурсів і масштаби самих будівель.

Автор спробував поглянути на проблему створення пірамід з точки зору технології будівництва і, зокрема, з позицій тих відходів, що незмінно супроводжували цей унікальний і тривалий технологічний процес, вважаючи його, в першу чергу, справою рук людських, а не позапланетних. Відходи — це своєрідна візитна картка для нащадків будівників пірамід.

Структуру технологічного процесу будівництва пірамід було докладно описано ще Геродотом. Судячи з численних літературних даних [2, 7, 8, 9 та ін.], це був наступний перелік робіт (рис. 9.1).

Значну частину становило виготовлення вапняних і кам'яних блоків із заготовок, що видобувалися в кар'єрах (див. рис. 9.1, поз. 1). Наприклад, у піраміді Хуфу налічується 2,3 мільйони кам'яних блоків вагою від 2,5 до 12 т кожен (табл. 9.3). Далі розглядається технологія доставки блоків (поз. 2) від місця їх отримання до місця зведення піраміди, включаючи їх транспортування через річку

Ніл (поз. 3). Перед монтажем, вже на місці будівництва, кожен блок полірувався на кожній грані (поз. 4), щоб укладатися в ряд собі подібних якомога щільніше, але без зв'язувального матеріалу. Далі слідує операція підйому кожного блоку в строго заданому місці обсягу будівлі (поз. 5) і встановлення його в тіло піраміди з точним їх приляганням один до одного (поз. 6). Підйом, за одним із можливих варіантів, здійснювався на спеціально побудованому похилому насипі за допомогою механічних важелів, або гранітних куль [10, 11, 12]. За необхідності на місці встановлення блоку проводилося притирання і додаткове шліфування його кромки (поз. 7).

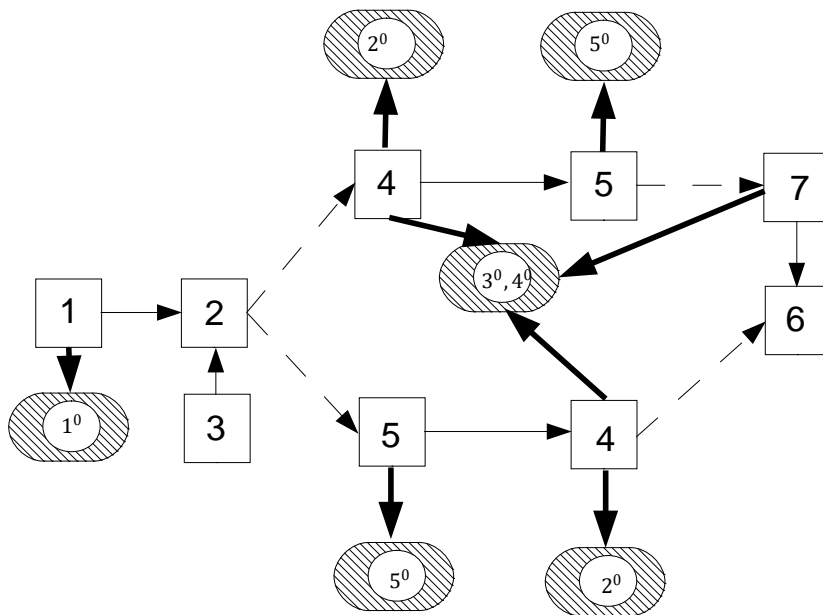


Рисунок 9.1 — Схема організації технології побудови піраміди і потоків отриманих відходів

Робота була чисто фізичною, із застосуванням ударно-пробійних пристроїв, мотик і подібних пристроїв, механічних важелів, найпримітивніших прокатних засобів, валків. Слід зазначити, що, за даними дослідників, єгиптяни не знали пиляння і не володіли розпилювальними інструментами [12]. Це спричинило величезну кількість уламків каменю при видобутку заготовок (табл. 9.3).

Тут ми не торкнемося вимірювальної апаратури, якою користувалися будівельники.

Звертає на себе увагу той факт, що в околицях пагорбів Гізи, як на правому, так і на лівому березі Нілу, і, зокрема, в районі вапнякових пагорбів Мокаттам, сьогодні немає давніх кар'єрів з масштабами видобутку десятків мільйонів тон будівельного каменю, як того вимагають обсяги будівництва пірамід [12].

Таблиця 9.3 — Основні технічні характеристики споруди «піраміда Хуфу»

№	Характеристика	Розмір
1	Вага піраміди, т	6300000
2	Об'єм піраміди, м ³	2340000
3	Висота, м	146,6
4	<i>Довжина сторони основи, м:</i>	
4.1	– північної	230,25
4.2	– східної	230,38
4.3	– південної	230,40
4.4	– західної	230,35
5	Кількість горизонтальних площин	203
6	<i>Число блоків:</i>	
6.1	– у т.ч.— вагою 2,5 т	,2028500
6.2	– у т.ч.— вагою 12 т	271500
7	Кут нахилу грані	51°52'
8	Кут нахилу ребра	42°
9	Загальна кількість зайнятих людей	100000
10	З них — кількість зайнятих робочих	60000

Таблиця 9.4 — Розрахункові дані щодо номенклатури відходів при будівництві піраміди

№	Найменування відходу	Кількість відходу, т/т блоку
1	Уламки будівельного каміння при видобутку з каменоломень	0,3–1,5
2	Дефектні перероблені блоки	0,1–0,2
3	Шліфувальний пил та пісок	0,2–0,25
4	Відходи абразивного матеріалу	0,2–0,25
5	Відходи з насипів для транспортування окремих блоків у тіло піраміди (багаторазовий матеріал)	0,2–0,5
	ВСЬОГО:	1,0–2,7

Більш того, немає компактних місць, де можна було побачити відходи такої активності у вигляді уламків блоків, щебню, вапняку, дрібнодисперсних залишків від шліфування мільйонів граней блоків (табл. 9.4). Навіть за найскромнішими підрахунками, «виїмка» кам'яних блоків з кар'єрів у кількості 2–3 млн. одиниць повинна супроводжуватися появою від 2 до 7,5 млн т щебню, вапняку або бракованих блоків. Слідів цих відходів в доступних для огляду околицях долини Гізи і річки Ніл також виявлено не було. Вони не могли розсіюватися тисячоліттями, як пісок, адже яскравим прикладом їх стійкості є самі блоки в тілі піраміди. Вивітрені, поцятковані тріщинками, але цілі і міцні. Аналогічна доля повинна спіткати відходи у вигляді сміття або щебню. Крім того, у вигляді відходів повинні залишатися браковані блоки з тріщинками і розломами. До відходів слід віднести як шліфувальний кам'яний пил у великій кількості, так і абразивні відходи шліфувального матеріалу для полірування твердого каменю. Найпростіший пісок найбільше підходив для цієї ролі. Для отримання 6,3 млн т блоків за весь період будівництва при існуючих і відомих на той момент технологіях повинно було знадобитися не менше 2–3 млн т абразивного піску. При цьому відходи «тесаного» каменю можуть досягати 2,25 млн т [12]. Мільйонами тон вимірювалася кількість допоміжного матеріалу для підготовки похилих насипів для доставки блоків на необхідну висоту. Це не може бути просто пісок. Для цих цілей необхідно було створити міцну конструкцію, нездатну до руйнування, коли через неї протягом декількох років доставлялися сотні тисяч блоків.

Таким чином, навіть розрахункові дані свідчать про явні невідповідності в технологіях, які розглядалися єгиптологами, і реальним станом, який дістався нащадкам у спадок. Ми не бачимо величезної кількості відходів при будівництві пірамід. У 1745 році англієць Р. Покок, а за ним А. Васильєв, і М. Лернер з Американського дослідницького центру в Єгипті запропонували гіпотезу, що піраміди являють собою скелі висотою від 8 до 125 м, викладені зовні кам'яними блоками (!) [8, 13, 14]. При такому підході кількість блоків і обсяг робіт різко скоротилися. І кількість відходів мала різко знизитися. Пізніші дослідження піраміди Хуфу спростовують існування такої скелі [15, 16]. Але це був напрямок — в тілі піраміди можуть бути не тільки блоки.

Відомо, що близько ста тисяч робітників забезпечували не тільки будівництво, а й побут і побутові функції рабів (в пропорції 1: 2 — кожен один раб повинен годувати, одягати, давати притулок собі і двом іншим, зайнятим на будівництві). Кожен робітник протягом 20 років, витрачаючи на день 100–250 ккал для продуктивної праці, повинен переробити свою частку з 6,3 млн т каменю й отримати свою частку з 6 до 15 млн т відходів, всього від 12 до 20 млн т будівельного матеріалу. При розрахунковій потужності [17, 18] приблизно 1,59 кДж/(кг·год) під час щоденної колективної роботи йому довелося не тільки виготовити кожен з 2,3 млн. блоків і доставити та встановити їх на майданчик, але і позбутися відходів.

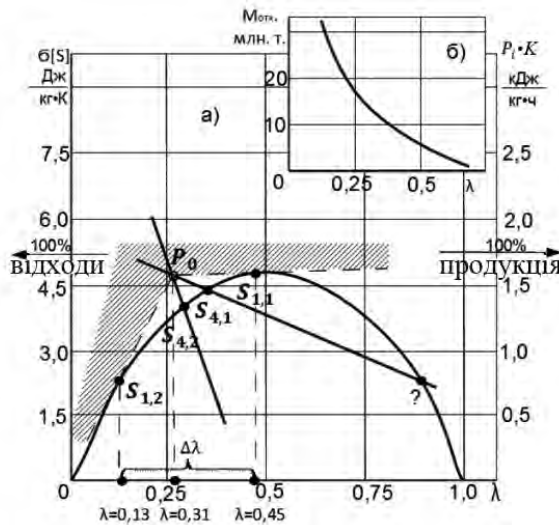


Рисунок 9.2 — Діаграма розрахунку утворення відходів у будівельних технологіях при створенні піраміди Хуфу. $K = 3 \cdot 10^{-3}$

Звернемося до методик оцінки механізмів утворення відходів, зокрема, при механічній обробці, які представлені вище. Розрахункова феноменологічна крива в координатах $\sigma[S]$ і λ показана на рис. 9.2, а і визначається за спрощеною формулою

$$\sigma[S] = \lambda(1 - \lambda) \sum_{i,j} L_{ij} X_i X_j \quad (9.1)$$

де: $\sigma[S]$ — виробництво ентропії в системі;

X — проєкції інтегральних енергетичних характеристик у координатах феноменологічних коефіцієнтів Л. Онзагера (L);

$\lambda = X''/X$ — ваговий коефіцієнт розподілу енергетичних характеристик, спрямованих на отримання корисних продуктів X' і відходів $X'' = X - X'$ (силові характеристики завжди пропорційні масі тіл, над якими робляться зусилля, тому під величиною X слід розуміти відповідну похідну від кількості матеріалів, задіяних у виробничому процесі).

Феноменологічна крива показує співвідношення сил або мас, що беруть участь у процесах виробництва корисних продуктів і відходів відповідно. Інтегральна поверхня феноменологічної кривої відображає сутність ентропійних процесів, пов'язаних із виробництвом корисних продуктів ($\lambda \rightarrow 1$) і з виробництвом відходів ($\lambda \rightarrow 0$).

На цій же осі в координатній сітці $P(\lambda)$ відкладемо єдину відому нам точку $P_0 = 1,59$ / (·) продуктивності праці робітників, зайнятих на будівельних роботах, при створенні піраміди Хуфу при співвідношенні

$\lambda = \frac{X'}{X} \approx \frac{6,3 \text{ млн т}}{20 \text{ млн т}} = 0,31$. При цьому ми не осереднюємо працю основних та допоміжних робітників.

Область динамічної нестійкості розглянутого виробничого процесу розташовується всередині двох дотичних ($P_0 S_{1,1}$ – $P_0 S_{1,2}$). Граничні умови по співвідношенню X'/X знаходяться в межах $0,13 < \leq 0,45$. Іншими словами, при існуючих на той момент технологіях загальна маса кам'яних блоків в тілі піраміди повинна становити не більше 45% від маси видобутого каменю, піску, абразиву. Решта повинні залишитися у вигляді відходів. Згідно з розрахунковими даними, ця величина становить близько $6,3 \cdot (1 - 0,45) / 0,45 = 7,7$ млн т. Цей показник майже збігається з даними з табл. 9.2.

Виникає питання: куди поділася величезна кількість відходів від будівництва піраміди Хуфу, що підтверджені розрахунками?

Розглянемо можливості побудови піраміди з точки зору наявних ресурсів. У долині Газа такі ресурси можуть включати пісок, вапняк, подрібнений камінь і щебінь кар'єрів, а також воду і повітря. Там більше немає дешевих ресурсів [19].

А ще вони можуть бути будівельним матеріалом для пірамід? Цілком так.

Цим, може і опосередковано, підтверджується гіпотеза, висловлена в [10] Олександром Сайфутдіновим про те, що одна частина піраміди, зовнішня, повинна бути побудована з кам'яних блоків. Такими, якими ми звикли це бачити. А найбільша частина відходів у вигляді щебню, абразиву пішла у внутрішнє тіло піраміди. З часом, там вони могли спресуватися і монолітизуватися. Серцевину можна викладати не з рівних блоків, а з необробленого каміння, валунів, гірського сміття, різних каменерізальних відходів, щебню, піску, укладаючи їх насипом. Згодом цей матеріал також самоущільнювався, надаючи міцність структурі піраміди (це одна з причин тривалого періоду будівництва пірамід у цілому), що не заважало збереженню організованих і неорганізованих пустот в її тілі, які в 1987 році були виявлені в чималих кількостях японськими фахівцями [12]. Тоді при однаковому обсязі потрібно значно меншу кількість оброблених блоків, менше і трудовитрат. Такий шлях міг би дати великий виграш у швидкості будівництва піраміди і, не в останню чергу, пояснює втрачені відходи у вигляді щебню і абразиву. Кількість цього ресурсного матеріалу (не менше 7 млн т) можна порівняти з оціночною вартістю кількості відходів при будівництві піраміди Хуфу.

Як непрямі докази наведемо наступне з літератури.

1. Більшість галерей і тунелів в тілі піраміди похилі (під кутом 26 градусів), що саме по собі технологічно проблематично у випадку з суцільною горизонтальною кладкою блоків.

2. Вхідний тунель є перекритим похилим монолітним блоком довжиною 10 м і має стіни зі спресованого вапняку.

3. Усередині піраміди було знайдено п'ять камер, які розташовані в уламках ущільненого вапняку.

4. У порожнинах камер японські вчені за допомогою телезонду виявили ретельно просіяний пісок, привезений з території за 6 км на південний захід від піраміди.

Все ж корисні ці дослідження відходів.

9.3. Відходи в будівельній галузі Стародавнього Риму

Будівельна галузь Стародавнього Риму не народилася на порожньому місці. Вона мала традиції зі Стародавньої Греції, Єгипту, Месопотамії та ін. Індустрія включала, в першу чергу, економічно необхідні об'єкти — культові будівлі та споруди, водопроводи, віадуки, дороги тощо. При цьому будівельні технології виникали не стихійно, а були продуктом попереднього досвіду і емпіризму багатьох поколінь.

Необхідність будівництва систем водопостачання для людства викликана, перш за все, нерівномірністю і нерегулярністю випадання опадів і розташуванням джерел питної води в місцях розселення. Ідея створення акведуків, без сумніву, пов'язана і зі зрошуваним землеробством, коли потрібно було подавати воду на значні відстані. Згодом водопровід проник і в житлові будинки. Найбільш ранні відомості про будівництво систем водопостачання були отримані з письмових джерел в Єгипті, Індії, Месопотамії, Пергамі, Греції [20, 21, 22, 23, 24].

Наприклад, у Месопотамії сезон дощів тривав два місяці, а решту часу була посуха. Воду потрібно було не тільки утримувати для полів, а й транспортувати для поливу, для пиття. В Урарту в VII ст. до н. е. була побудована система каналів для відводу води самопливом від джерел на досить великі відстані. Для цього в горах були побудовані тунелі, через річки зведені акведуки з прокладеними зверху водоводами у вигляді труб.

У Стародавньому Римі перший акведук довжиною 16,5 км з'явився в 312 році до н. е. Ініціатором створення цієї водної споруди був цензор Апій Клавдій. Створенню акведука передувало будівництво дренажних басейнів у верхів'ях річки Тибр і в горах. Водопровід значно полегшив водопостачання жителям Вічного міста, які раніше користувалися річковою, джерельною і дощовою водою, доставляючи її в свої будинки в спеціальних посудинах і зберігаючи у великих ємностях. Рим став найбагатшим на воду містом світу. На кожного громадянина припадало від 600 до 900 літрів води щодня. Водогони постачали 1,5 млн. м³ води на добу. Однак не вся вода витрачалася з користю. Через відсутність об'єднання, що перекидає воду, вона надходила безперервним самопливом. При цьому виконувалася функція промивання каналізаційних стоків. Забруднена вода без очищення скидалася в Тибр або в море.

Пізніше на стоки стали встановлюватися перші фільтри для уловлювання твердих суспензій та біологічної маси. Роль фільтрів грали очеретяні або со-

лом'яні фасцини, покладені на дно зливу, які змінювалися щотижня. Оскільки частота зміни фільтрів нічим не регулювалася, найчастіше ці примітивні очисні споруди забивалися і викидалися у відходи.

Система водопостачання, створена в Стародавньому Римі, справно працює і до цього дня.

Водопостачання Риму було ускладнене пересіченою місцевістю, оскільки місто розташоване на семи пагорбах, оточених рівнинною територією. Вода переміщала до міста тільки самопливом, іншого способу не існувало. При наближенні водопроводу до міста були влаштовані водонапірні башти, які за принципом роботи нагадували сучасні водні споруди. Далі водозабезпечення здійснювалося за допомогою водоводів, які в межах міста розташовувалися на акведуках — спеціальних спорудах у вигляді мостів. Водопровід проходив зверху акведука і представляв собою канал у вигляді жолоба, зроблений з каменю, цегли або бетону. Його водопровідне русло мало ширину 1,37–1,68 м, а висоту — 2,44–2,75 м. З золотисто-коричневого вапняку були витесані блоки вагою до 6 тон, які укладалися один до одного без розчину, «насухо». Максимальна висота такого водопроводу — 50 м, довжина — 269 м. Передбачається, що внутрішня частина опор акведука виконана з римського бетону. Русло водоводу зверху перекривали кам'яними плитами, щоб уникнути засмічення і випаровування води, а також впливу ультрафіолету сонячних променів, через що у воді могло починатися бурхливе зростання водоростей. Трубопровід міг мати прямокутний перетин каменю, оштукатурений всередині крупнозернистим розчином з додаванням пуцолани.

Згодом такі споруди стали робити тільки з бетону і цегли. Німецькі дослідники Р. Гамблах і Д. Грюн стверджують, що в якості сполучної речовини для бетону трубопроводу використовувалася не спущене вапно з додаванням трасу, як передбачалося до них, а високогідралічне вапно, отримане з довколишніх родовищ вапняку в районі Ейфеля. У той же час цегляний пил використовувалася в якості гідралічної добавки.

Римлянами були розроблені бетонні труби, які, на думку сучасних фахівців, могли витримувати більш високий тиск рідини, ніж кераміка або свинець. Прообразом служили труби з натурального каменю з видовбаними в середній частині отворами. Бетонні труби зовні мали квадратну форму з розміром сторони 21 см, а внутрішній діаметр саме труб становив 6–8 см. Труби виготовлялися у вигляді окремих ланок довжиною близько 95 см і з'єднувалися між собою «стик в стик» з подальшим «карбуванням» стику розчином і бетоном.

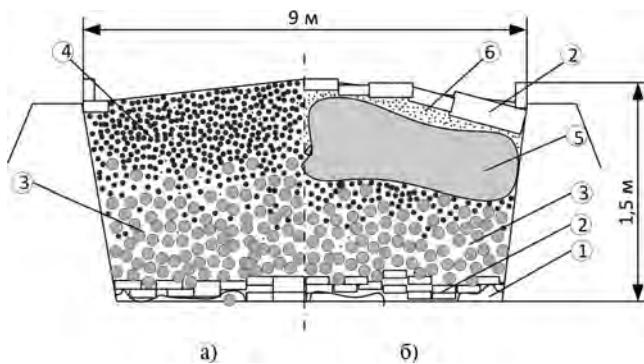
У Римі, таким чином, було побудовано сім основних водоводів. Спеціальна система труб з'єднала джерело води з 247 водорозподільними об'єктами, розкиданими по всьому місту. На кожен акведук їх припадало від 14 до 92 одиниць. Від кожного розподільника до центрів водоспоживання тягнулися лінії підземних труб, які не були пов'язані між собою. Єдиної замкнутої системи водопостачання та водопідготовки не було.

По всьому місту під тротуарами була побудована система водопостачання зі свинцевих труб. Розміри труб були строго стандартизовані і вироблялися в спеціалізованих майстернях. За словами Вітрувія, найбільша свинцева труба мала довжину кола 100 дюймів (близько 80 см в діаметрі). Інформація про шкоду свинцю для здоров'я була відома вже тоді. Але, вважалося, що з часом через підвищену жорсткість води стінки труб покривалися захисним шаром карбонату кальцію і це захищало людей від розчиненого у воді свинцю. Історія показала, що це не так.

Особливий інтерес наша тематика викликає щодо римських доріг. Дороги прославляли Стародавній Рим. Дороги — це торгові шляхи, шляхи сполучення, які сприяли розвитку Стародавнього Риму, його культурі і цивілізації. Вони перевозили награване в завойованих країнах, по них виганяли тисячі рабів. На початку II століття н.е., за часів Траяна, було вже близько 100 тисяч кілометрів доріг державного значення, в основному з твердим покриттям. Вони були добре обладнані й утримувалися в відмінному робочому стані. Вважається, що до кінця I століття до н.е. практично весь італійський півострів перетинали дороги, що вели до Риму. Таким чином, будівництво доріг було добре налагодженою державною галуззю з власною сировинною базою і власними відходами. І, зокрема, слід звернути увагу на низьку кількість відходів для цього типу будівництва. Сьогодні ми маємо мало відомостей про те, що дороги в Стародавньому Римі вже були накопичувачами будівельного сміття з усього півострова. Не виключено, що

це стало відправною точкою для розвитку дорожнього будівництва (рис. 9.3).

Представляє інтерес перелік матеріалів, що використовувалися для будівельних робіт у Стародавньому Римі і, особливо, перелік відходів, пов'язаних із подібними будівельними роботами (табл. 9.5). Кількісні характеристики, що принаймні віднесені до одиничної ваги будівельних матеріалів, досить умовні [25, 26, 27, 28]. Проте вони, а також методи їх переробки (табл. 9.5) дають оціночне уявлення про необхідні параметри відходів, які дозволили б розрахунковим шляхом отримати кількісні характеристики утворення відходів у цих технологіях.



1 — підстилковий шар; 2 і 5 — кам'яні плити; 3 і 4 — бетон; 6 — крупний гравій і пісок.

Рисунок 9.3 — Профіль римської дороги з гравійним (а) і кам'яним (б) покриттям (Легер)

Таблиця 9.5 — Будівельні матеріали та оціночні відходи в технологіях будівництва Стародавнього Риму

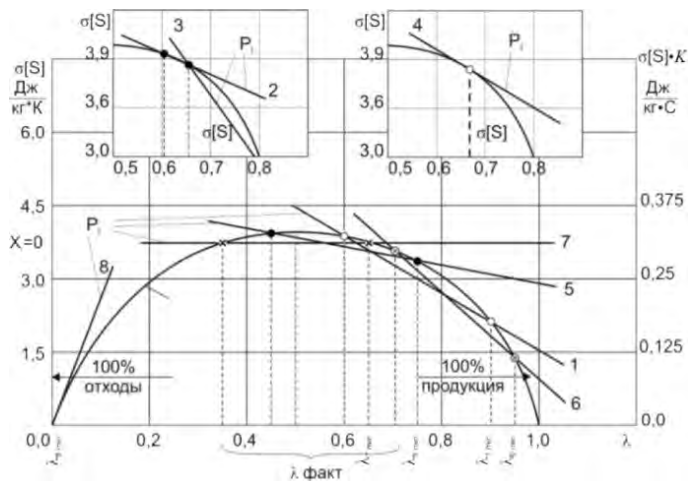
Тип споруди або конструкції	Матеріали, процеси, методи обробки, що використовувалися	Технічні характеристики утворення відходів
1	2	3
Гончарні труби	Глина, вода, теракота, цегляні дрібні добавки, дерево, вогонь, заміс, випал	Оксиди кремнію, обпалена глина, фрагменти гончарних труб
Свинцеві труби	Свинець, глина, деревне вугілля, вогонь, нагрівання, плавлення	Свинцевий шлак, оксиди кремнію, пари свинцю, сірководень
Кам'яні блоки пробурені	Гідравлічний цемент, цегляний дріб'язок, глина, залізні скріпи, обпалена глина, теракота, очищений пісок, заміс, цементация, роторне буріння	Кам'яна крихта, цементно-бутовий бій, висів землі
Бетонні труби	Спушене вапно, цемент, пісок, глина, мрамур, крейда, водно-дисперсні суміші, футерування	Цементно-бутовий бій, забруднена вода, дрібнодисперсний пил, висів землі і дрібного каменю
Вододіли	Бутовий камінь природний, бита черепиця, роман-цемент, цегла сирцева й обпалена, гідравлічний цемент, галька, пісок, залізні брикети, «дюбелі», дерев'яна опалубка, кладка, водно-дисперсні суміші	Цементно-бутовий бій, висів землі і каменю, бита сирцева або обпалена цегла, обрізки деревини опалубки
Водонапірні башти	Бутовий камінь, бита черепиця, шлакова пемза, галька, спушений вапняний цемент, мрамур, крейда, пісок, сирцева та обпалена цегла, цегляний дріб'язок, залізні розкоси, «дюбелі», дроблення каменю, кладка, водно-дисперсні суміші	Цементно-бутовий щебінь, висів землі і каменю, обрізки деревини опалубки, бита сирцева або обпалена цегла
Акведуки	Обпалена глина, теракота, натуральний бутовий камінь, сирцева та обпалена цегла, галька, вапняний цемент, крейда, пісок, залізні розкоси, «дюбелі»	Цементно-бутовий щебінь, висів землі і каменю, обрізка деревини опалубки, бита сирцева або обпалена цегла
Римські дороги (багатошарові)	Кам'яні плити, кам'яні блоки, битий камінь, гравій, дрібногравійний бетон, спушений вапняний цемент, пісок, вода, розпилювання плит, дроблення каменю, розчинна стяжка плити, бетонування, трамбування, організація дренажу	Відходи природного каменю, крупнозернистий і дрібний пил, глина і ґрунт, що вийняті з місця будування

При будівельних роботах використовувалася в основному фізична праця людини (рабів) і механічні знаряддя — ломи, сокири, кувалди, механічні мішалки, лопати і кайла, мотики. Наприклад, для обслуговування водопроводів існувала так звана водна бригада з майже 700 рабів, які володіли різними спеціальностями. Основною системою організації праці були так звані «римські кооперативи» і «колегіуми», що об'єднували вузьких фахівців і прикріплених до них рабів. В цілому при розрахунках енергоспоживання, можна скористатися даними С. Подолинського і Г. Одума про енергію ручної і механічної праці [17, 18].

Далі, використовуючи методи розрахунку теоретичного мінімуму утворення відходів, що були описані вище, маємо наступне (рис. 9.4). При співставленні феноменологічної кривої, що відповідає досягнутому термодинамічному мінімуму в координатах $[S] = -30(- 0,5)$, і емпіричних графіків типу $P_i = \varphi_i(\lambda)$, що відображають енергетичні витрати при виконанні відповідної роботи, отримуємо можливий теоретичний мінімум утворення відходів для кожного виду відходів (табл. 9.6) і реальне значення коефіцієнтів λ , які дозволяють визначити оціночні втрати будівельного виробництва в Стародавньому Римі. При цьому для всіх видів розглянутих відходів теоретичний мінімум утворення відходів термодинамічно стійкий, що говорить про стан вираженої рівноважності таких простих виробничих систем, у всякому разі, в межах прийнятих припущень.

Таблиця 9.6 — Вихідні дані і результати розрахунку утворення відходів у технологіях будівництва Стародавнього Риму

Тип відходу	Орієнтовний обсяг виробництва основної продукції, тис. т	$P_i(\lambda)$	λ_{\min}	$\lambda_{\text{факт}}$	$(1-\lambda_{\text{факт}})_{\text{т/т}}$	Орієнтовний обсяг відходів у галузі, тис. т
Обпалена глина	900–1300	0,24	0,90	0,60	0,40	360–520
Свинцевий шлак	20–40	0,61	0,65	0,60	0,40	5–10
Цементно-бутовий бій	300–600	0,11	0,85	0,65	0,35	105–210
Видобуток і висів ґрунту та каміння	~2000	0,088	0,67	0,67	0,33	~660
Бита цегла сирцева	150–400	0,47	0,75	0,45	0,55	82–220
Бита цегла обпалена	450–600	0,33	0,93	0,71	0,29	130–174
Відходи обробки натурального каменю	500–800	0,09	0,65	0,35	0,65	325–520
Обрізки деревини опалубки	15–60	0,87	0,0	0,0	1,0	15–60
ВСЬОГО:	4335–5800	–	–	–	–	1682–2374



1 — обпалена глина; 2 — свинцевий шлак; 3 — цементно-бутовий бій; 4 — висів ґрунту і дрібного каменю; 5 — бита сирцева цегла; 6 — бита обпалена цегла; 7 — відходи переробки природного каменю; 8 — обрізка деревини опалубки

Рисунок 9.4 — Схема для розрахунку теоретичного мінімуму утворення відходів у технологіях будівництва Стародавнього Риму. $K = 12,0$

Найбільш відходоутворювальними в цей період були технології механічної обробки природного каменю, приготування обпаленої глини, приготування будівельного піску і будівельні роботи з глиняною цеглою. Слід зазначити, що саме ці вироби були найбільш затребувані в будівельній галузі на межі нової ери.

Як здається, відходи від будівельних робіт у Стародавньому Римі могли складати до 2,5 млн т на рік, що важливо для нащадків. При цьому близько 10 тисяч оціночних тон були віднесені до небезпечних відходів від переплавки свинцевого матеріалу. Тільки за 100 років римського правління на Апеннінах і в колоніях повинно було накопичитися не менше 200 млн тон будівельного сміття. Навіть при тому, що дорожні технології дозволили переробити частину будівельного сміття (недарма дорожнє будівництво отримало такий розвиток на півострові). На Апеннінах за тисячоліття римського правління повинно було залишитися безліч відходів. Де вони?

9.4. Технологічні процеси утворення відходів при біологічному очищенні

Слід зазначити, що процеси мінімізації відходів дуже прийнятні і для сучасних технологій, у чому ми вже мали можливість переконатися. Розглянемо сучасні технології біологічної очистки, для яких існують свої особливості появи відходів даного виробництва [29].

Будь-який процес очищення середовища або компонентів від домішок, забруднень можна представити у вигляді технологічного процесу зі своїми законами, який надає продукцію у вигляді чистого середовища або очищених компонентів і, в той же час, отримує відпрацьовану базу у вигляді концентрованих вихідних домішок або забруднень. Відмінною особливістю цього процесу є наступне. *Чим більше відходів у технології очищення, тим ефективніший цей процес.* Універсальним показником ефективності тут є відношення різниці між початковою і кінцевою концентрацією до її початкового значення

$$E = \frac{C_H - C_K}{C_H}. \quad (9.2)$$

У строгому розумінні технологічного відходу *залишковий вміст забруднень в обробленому середовищі* також можна віднести до втрати чистого середовища, а тому до нерозподілених відходів, що знижує ефективність основного продукту.

Якщо застосовувати до таких технологій концепцію теоретичного мінімуму утворення відходів за методикою, запропонованою вище, то він повинен включати в себе інтегральний показник утворення відходів — ефективність очищення (9.2), включаючи всі потоки утворення відходів [30].

Як приклад розглянемо процес очищення біосередовища від нітратів і хроматів. Для цих цілей використовуються різні мембранні реактори [31], наприклад, у вигляді полімерних мембран з нанесенням на їх активну сторону плівок агар-агару і з культурою бактерій, закладеної на їх поверхні у вигляді біокаталізатора. Мембрана поміщається в діалізну камеру без доступу кисню. Біологічна активність бактерій підтримується органічним вуглецем у реакторі.

Такі біологічні реактори використовуються, в тому числі, для денітрифікації, хроматної і сульфатної редукції органічного субстрату, тобто нейтралізації нітратів, хроматів і сульфатів в органічному середовищі. Біологічне очищення забезпечується двома паралельними процесами — дифузійною органіки через мембрану і відділенням від біомаси, наприклад, нітратів з відновленням їх аніонних молекул до молекулярного азоту за рахунок окисно-відновних процесів. Дифузійний потік через мембрану визначається різницею концентрацій, відповідно, нітратів, сульфатів, хроматів і деяких інших домішок в органічних субстратах. На активній стороні мембрани знаходиться субстрат із початковим вмістом шкідливих компонентів, а на приймальній стороні мембрани знаходиться очищена певною мірою біологічна маса і молекулярний азот, хром, сірка.

Відразу звернемо увагу на зону активної реакції перед мембраною, як на сильно термодинамічно нерівноважну частину виробничої системи. Про це свідчить значна зміна окисно-відновного потенціалу (в 50–400 разів). І увагу на зону після мембрани (приймальна сторона), як слабо нерівноважну систему, для якої зміна окисно-відновного потенціалу незначна (в 2–7 разів) [31].

У зв'язку з цим зробимо зауваження в формулі (9.2): C_H — концентрація компонента на активній стороні мембрани; C_K — концентрація компонента на приймальній стороні мембрани.

В роботі [32] були досліджені механізми роздільної й одночасної денітрифікації і відновлення хромата в мембранних біореакторах за допомогою бактерій *Pseudomonas*, здатних в анаеробному середовищі відновлювати оксиди азоту і шестивалентний хром до їх молекулярного стану. У біореакторі використовувалися ультрафільтраційні мембрани C005F, C030F і C100F із зазначенням розміру клітин у мікронах. Для нас ці дослідження важливі, перш за все, тому, що дозволяють оцінити не тільки ефективність очисної технології, але і визначити максимально можливий ступінь редукції. Скористаємося ними.

Ізольоване зниження нітратів протягом 60 годин здійснюється зі змінною ефективністю (рис. 9.5, графік 1) в невеликих межах. При цьому різниця концентрацій на активній і приймальній сторонах зменшується (див. рис. 9.5, графік 2), що свідчить про стійку репродуктивність компонентів процесу. Ізольоване відновлення хроматів є більш продуктивним (див. рис. 9.5, графіки 3 і 4), при цьому термін очищення вдвічі менший. При стабільно високій ефективності очищення, маємо значне зменшення різниці концентрацій ($C_H - C_K$). Якщо прийняти за втрати концентрацію нітратів на приймальній стороні мембрани, то вона має тенденцію навіть до рівномірного збільшення в процесі очищення (див. рис. 9.5, графік 6). Аналогічні дані і для процесів хромат-редукції.

При одночасному відновленні нітрату і хромату в мембранному реакторі енергія мембранного покриття істотно змінюється, ці зміни залежать від розміру чарунок мембрани, власного стандартного електродного потенціалу і розташування елемента в окисно-відновному ряду [32]. Відновлення шестивалентного хрому, який має більш високі показники, в присутності нітратів відбувається швидше і інтенсивніше (рис. 9.6, графік 4). В цьому випадку нітрати просто дифундують через мембрану без відновлення. З іншого боку, в кінці процесу відновлення хрому процес молекулярного азотоутворення йде ще інтенсивніше, ніж при роздільному відновленні (див. рис. 9.6, графік 2).

Тепер, коли ми знаємо основні закони технології біологічної очистки, можна розглянути енергію процесу, яка визначає теоретичний мінімум відходів у цій технології. Звернемося до нашої методики. Безумовною і необхідною умовою теоретичного мінімуму відходів для будь-якої виробничої системи є співвідношення $\sigma[\delta Z] = 0$, при якому надлишок ентропії в балансі не тільки не збільшується, але досягає мінімуму, тобто виконується умова

$$\delta(pe) = \delta P_{ij} \frac{v_{ij}}{v_i}, \quad (9.3)$$

тут $\delta(pe)$ — нескінченно малий приріст джерела щільності енергії на одиницю маси;

$\delta P_{ij} \frac{v_{ij}}{v_i}$ — нескінченно малий приріст тензора сили в напрямку вектора при-

кладання цієї сили. Важливим моментом тут є те, що ця умова задовольняється тільки при незмінних потоках, що може бути застосовано до наших умов.

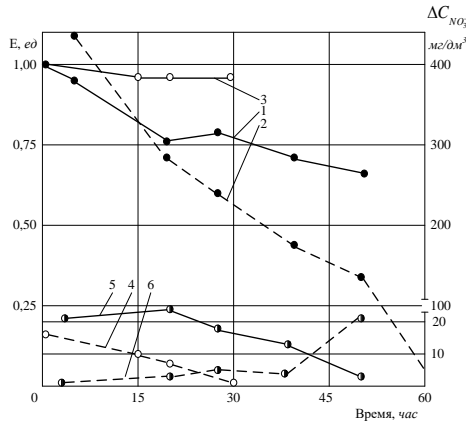


Рисунок 9.5 — Зміна окисно-відновного потенціалу E (1, 3, 5) і концентрації NO_3 на активній (2) і приймальній (4, 6) стороні мембрани C005F і C030F

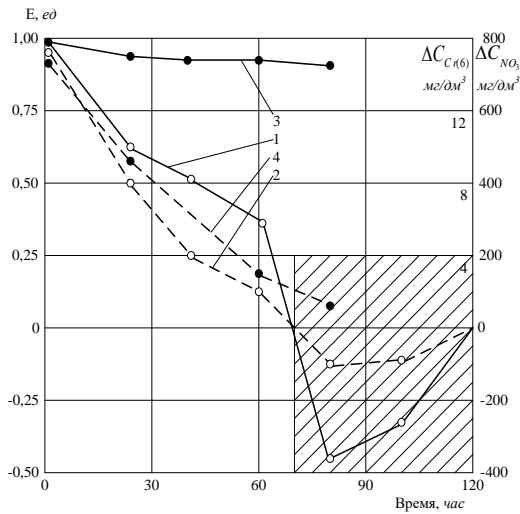


Рисунок 9.6 — Зміна окисно-відновного потенціалу E (1 і 3) і різниці концентрацій на активній і приймальній сторонах мембрани (2 і 4) з одночасною сепарацією нітрату і хромоту

Як енергетичну складову окисно-відновного процесу на мембрані розглянемо втрати потужності на мембрані, як на електричному опорі ($I \Delta E_{hi} \cdot t = X_{hi}$). При

цьому частина її ($I\Delta E'_{hi}\delta t = X'_{hi}$) спрямована на редукцію хроматів і нітратів.

Ваговий коефіцієнт $\lambda = \frac{X'_i}{X_i}$ у виразі для виробництва ентропії

$$\sigma[S] = \sum_i J_i X_i = \sum_{ij} L_{ij} X'_i X''_j = \lambda(1-\lambda) \sum_{ij} L_{ij} X_i X_j \quad (9.4)$$

за умови $\frac{\partial(\sigma[S])}{\partial X} = 0$ відображає співвідношення енергетичних параметрів

системи, яка одночасно виробляє продукти (X'_i) і відходи (неочищена частина біомаси) — $X''_i = (X_i - X'_i)$.

Розрахункові значення розподілу енергії між процесами виробництва і відходами наведені в табл. 9.7 і є вихідними даними для визначення основної феноменологічної кривої $\sigma[S]_H$ (рис. 9.7). Коефіцієнт розмірної пропорційності на графіку $K = 3 \cdot 10^{-2}$. В якості сліду силового тензору в рівнянні (9.3) візьмемо різницю концентрацій компонента на активній і приймальній сторонах мембрани ($\Delta C_{NO_3^-}$) і ($\Delta C_{Cr(6)}$), відповідно.

Таблиця 9.7 — Втрати потужності внаслідок зміни окисно-відновного потенціалу між активною і приймальною сторонами мембрани

ΔE_{hi} , мВ	0	125	140	120	135
t , час	—	6	10	14	22
$\Delta E'_{hi}$, мВ	0	125	160	210	350
δt , час	—	0,2	0,4	0,4	0,5
X_{hi}	—	750	1400	1680	2970
X'_{hi}	—	25	64	84	175
λ	—	0,033	0,045	0,050	0,059

При порівнянні тензорних характеристик із даними розрахункової феноменологічної кривої (див. рис. 9.7) можна зробити наступні висновки. В умовах одночасної сепарації при реальному утворенні відходів до 195 мг/дм^3 (точка S_3) для нітратів і до $4,3$ (інша точка S_3) для хроматів їх параметрична область знаходиться в межах $0,77 < \frac{T}{NO_3^-} < 1$ і $0,72 < \frac{T}{Cr(6)} < 1$ відповідно. Сильно нерівноважну область феноменологічної кривої, що відноситься до точок (S_4), позначимо як $0,94 < \frac{T}{NO_3^-} < 1$ і $0,98 < \frac{T}{Cr(6)} < 1$. За перерахунком до параметру $X'' = (1-\lambda)X$ отримаємо, що реальний рівень утворення відходів для нітратів у $(1-0,77)/(1-0,94) = 3,8$ рази і для хроматів у $(1-0,72)/(1-0,98) = 14$ разів перевищує умовний теоретично можливий рівень відходів у даному техноло-

гічному процесі. Рівень, який у розрахунковому варіанті є $195/3,8=51,3$ / 3 для нітратів і $4,3/14=0,3$ / 3 для хроматів. Саме така кількість досліджуваних речовин теоретично може проникнути через мембрану в процесі сепарації, у вигляді залишкового забруднювача системи (для нас — відхід). Ймовірно, ця умовна межа може змінюватися в залежності від типу мембрани (див. рис. 9.5), розміру її чарунок, поєднання або поділу процесів денітрифікації і хроматоредукції (див. рис. 9.6) в одному мембранному реакторі, та від деяких інших особливостей технологічного процесу.

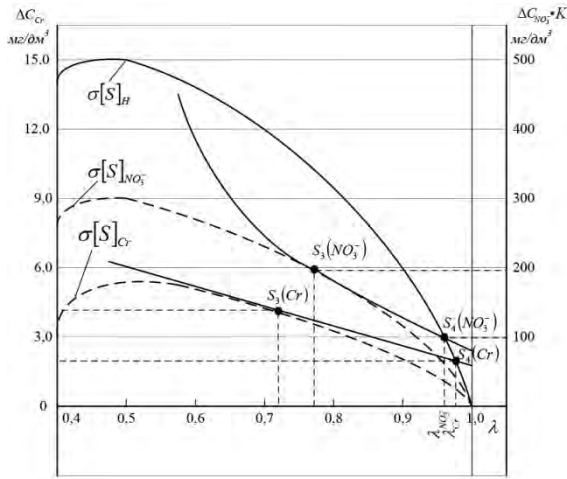


Рисунок 9.7 — Графік розрахунку теоретичного мінімуму утворення відходів у системі мембранного біоочищення нітратів і хроматів. $K = 3 \cdot 10^{-2}$

9.5. Особливості утворення відходів у нанотехнологіях

Термін нанотехнології вперше був використаний у 1974 році японським вченим Норе Танігуті. Сьогодні нанотехнології — це не тільки гіпотеза. Це серйозні наукові дослідження і результати. Це окрема, але чітко визначена виробнича практика, достатній асортимент продукції, властивості якої істотно відрізняються від таких для існуючих до цього промислових товарів. Сьогодні майже три чверті нанопромисловості пов'язано з електронікою і новими матеріалами (табл. 9.8). В кінці ХХ століття США і Японія щорічно витрачали на дослідження в області нанотехнологій до 120 млн. доларів, вважаючи це вигідним капіталовкладенням.

Жвавий інтерес до нанотехнологій і наноматеріалів обумовлений кількома причинами. Зокрема, великі міждисциплінарні інтереси в науці про нанотехноло-

гії та наноматеріали. По-друге, відкриття значних прогалів у знаннях в області матеріалознавства, які пов'язані з новими властивостями речовин, що проявляються на нанорівні. І, по-третє, можливість отримання недосяжних раніше властивостей матеріалів і пристроїв на основі наночастинок. Зокрема, це нові параметри фазових переходів для загальновідомих і поширених речовин, зміна властивостей електро- і теплопровідності, магнітної проникності і т.д. Сьогодні існують окремі нанотехнології, в яких для створення зусиль на мікроструктурному рівні використовуються властивості капілярності, сил парціального тиску, сил Ван-дер-Ваальса, імпульсів ударного струму і т.д.

Таблиця 9.8 — Розподіл ринку нанопродуктів у країнах СНД [33]

№	Галузь використання	Частка ринку, %
1	Наноелектроніка	45
2	Наноматеріали	27
3	Нанобіотехнології	14
4	Полімери з наночастинками	5
5	Наноелектрохімія	5
6	Нанооптика	4

Найцікавіші властивості наноматеріалів визначаються, перш за все, такими факторами, як розміри структурних елементів, граничні умови формування наночастинок, фізичні або хімічні показники вихідної речовини. Однак основна функціональна залежність між властивостями і структурою наносистем характеризується так званим *розмірним ефектом*, а саме залежністю властивостей речовини від розмірів елемента, створеного на його основі. Звернемося до робіт І. І. Білана, в яких автор спробував систематизувати основні властивості наноматеріалів, відмінні від властивостей вихідних речовин (табл. 9.9). Ілюстрацією таких незвичайних властивостей наноматеріалів є, наприклад, можливість створення нанопокриттів з оптичними властивостями стосовно поглинання спектра ультрафіолетового випромінювання. Це відкриває можливості, наприклад, споруджувати справжні фільтри з таких матеріалів у місцях утворення озонних дір, щоб захистити поверхню Землі від жорсткого ультрафіолетового випромінювання.

Причому ці властивості залежать і від комплексу, в якому знаходяться наноструктури: ізольовані (слабо взаємопов'язані), поверхневі наночастиці або наноструктуровані макрооднорідні масиви (одно- або гетерофазні). Незважаючи на невеликі розміри наночастинок і мікроструктуру таких «доменів», їх властивості описуються в основному законами макрофізики. Тому можна бути впевненим, що це не тільки нові властивості відомих матеріалів. А наноструктури — це не тільки унікальний стан речовини. Це макрофізичні закони в нових технологіях.

Таблиця 9.9 — Залежність мінливих властивостей наноматеріалу від зменшення розмірів наночастинок

Властивості наноматеріалу	Прояв специфічних властивостей на тлі зменшення нанорозміру
<i>Механічні</i>	Підвищення твердості і механічної міцності металів і кераміки, підвищення ударної в'язкості при руйнуванні, поліпшення ковкості, прояву надпластичності, підвищення зносостійкості та інших експлуатаційних характеристик при циклічних навантаженнях
<i>Теплові</i>	Зниження температури фазових переходів, зокрема температури плавлення. Розширення температурного діапазону лінії фазових переходів
<i>Хемокінетичні</i>	Різке збільшення значення коефіцієнтів дифузії, зниження показника теплопровідності при певному критичному розмірі наночастинок
<i>Електричні</i>	Збільшення електричного опору для металів, збільшення електропровідності для діелектриків, збільшення діелектричної проникності для сегнетоелектриків
<i>Магнітні</i>	Збільшення коерцитивної сили, надмагнітна поведінка феромагнетиків
<i>Оптичні</i>	Збільшення поглинальної здатності в спектрі ультрафіолетового випромінювання

Наприклад, у лабораторії Лоуренса (Берклі, США) було встановлено, що температура плавлення нанокристалів германію з вкрапленнями до кварцу приблизно на 200 градусів вища, ніж температура плавлення цільного германію. А температура кристалізації нанокристала германію, в свою чергу, виявляється на 200 градусів нижча, ніж температура кристалізації цільного германію. Таке збільшення температурного діапазону нанокристалів германію в рідкому стані поки не має чіткого пояснення.

Ефект «розміру» в наносистемах проявляється не тільки у вигляді мікрозмін на властивісному макрорівні. Наприклад, при скороченні міжатомних відстаней до певного заданого критичного значення відбувається фазовий перехід за рахунок зміни розмірів кристалічної решітки. Такий «розмірний» ефект може мати наслідком або стабілізацію фаз високого тиску в нормальних умовах, або призводить до стабілізації високотемпературних фаз певних матеріалів.

Інший приклад. Отримання поверхневих покриттів на основі діоксид-цирконієвої плівки може різко знизити теплопровідність через такі поверхні, чого неможливо досягти за наявності діоксиду цирконію в макростані. Оскільки при зменшенні товщини плівки діоксиду цирконію з макророзмірів до 30 нм її теплопровідність знижується приблизно в 2–3 рази.

Залізо набуває властивості супермагніту при розмірі частинок менше 10 нм, а оксиди і ферити такими властивостями володіють при розмірах частинок не більше 40 нм. Однак виробництво матеріалів із такими надвластивостями здійснюється за технологіями синтезу, практично без втрат і відходів.

Експериментально показано, що енергія активації наночастинок міді в 3,3 рази нижча, ніж у об'ємної міді (61,7 і 197,0 кДж/моль відповідно), а для нано-нікелю в 5,5 рази нижча, ніж для об'ємного нікелю (50,7 і 275 кДж/моль відповідно). Показники самодифузії для нанонікелю на три порядки нижчі, ніж для об'ємного нікелю. І так далі.

Таких прикладів у літературі багато. Деякі з них отримали подальший розвиток у вигляді промислових технологій.

Три різні групи нанопродуктів об'єктивно підготовлені до виробництва або вже у виробництві: це ізольовані або слабо пов'язані між собою наночастинки (табл. 9.10), наноповітряні або наноплівки (табл. 9.11) і об'ємні однорідні або гетерогенні наноструктури (табл. 9.12).

Відповідно, існують розроблені реальні технології виробництва нанопродуктів для кожної з цих груп. Всі ці технології певним чином унікально співвідносяться з процесами утворення відходів.

Відмінною особливістю продуктів, що відносяться до першої групи, є придбані властивості, при яких експлуатується вся поверхня наночастинки, що дає відповідні результати для конгломерату ізольованих або слабо пов'язаних між собою наночастинок. У другій групі нанопродуктів ми маємо справу з поверхневими ефектами в наносистемах і відповідними властивостями отриманих поверхонь.

Третя група нанопродуктів дає найбільшу різноманітність експлуатаційних результатів, тим більше що якщо брати до уваги номенклатуру відомих технологічних способів їх виготовлення, то ця група є найбільш розвинутою.

Сьогодні до нанопродуктів цієї групи, технологія яких вже відпрацьована, відносяться, наприклад, фулерени, що створюються на основі графітової сировини для керамічних виробів (виробництва США). Вони застосовуються для зменшення тертя ковзання в механічних парах, створення полірувальних композицій матеріалів на основі частинок наноалмазів (відходи алмазних технологій).

Широко використовуються на цей час цікаві властивості наночастинок і нанопокриттів на основі діоксиду кремнію. Це і антикорозійні водовідштовхувальні покриття на основі плівок SiO_2 , і наноматриці з масляним просоченням і зміненими оптичними властивостями. Це кремнієві наносенсори, наноласери і великий спектр наноелектронних пристроїв на основі SiO_2 . Всі ці продукти відрізняються однією загальною властивістю — вони створюються за технологіями синтезу, коли ціле виходить з окремих наночастинок, а не навпаки, як це можливо в традиційних технологіях. При цьому відхідна частина технології зведена до мінімуму.

Таблиця 9.10 — Стан і властивості технологій отримання виділених наночастинок, отримання їх конгломератів і порошків щодо процесів утворення відходів (за матеріалами робіт академіків Ребіндера, Петрова)

№	Найменування нанотехнології	Особливості нанотехнології	Відношення до утворення відходів
1	2	3	4
1	Диспергування	Подрібнення (пружна або пластична деформація) існуючих об'ємних зразків до необхідних розмірів з метою отримання однорідних наноконпонентів	Відходи у вигляді вихідних мікрочастинок при подрібненні, сепарації. Кількість відходів може бути порівняна з кількістю продукції, що випускається
		Вплив ударного звуку або ультразвукової хвилі на мікрочастинки	Відходи у вигляді механічно розділених частинок при недотриманні частотних обмежень у технології
		Введення емульгаторів, поверхнево-активних речовин, стабілізаторів	Відходи відпрацьованих посередників (поверхнево-активні речовини, емульгатори та інші)
2	Інтеграція частинок, газо фазні технології	Випаровування частинок і їх подальша конденсація. Теплове вакуумне випаровування та збирання наночастинок. Мікроструктурні зміни порошку	Відходи у вигляді втрат пари і незібраних крапель. Кількість відходів може бути порівняна з кількістю продукції, що випускається
3	Хімічні технології	а) осадження металів у розчинах; б) термічне розкладання речовини; в) відновлення металів з оксидів	Відходи у вигляді побічних продуктів хімічних реакцій, залишків розчинів і розчинників. Наявність отруйних і токсичних реагентів
4	Вибухові технології	Вибух провідника під дією імпульсів струму, випаровування й утворення крапель у потоці гомогенної пари, що швидко розширюється	Відходи у вигляді втрат пари і незібраних крапель. Кількість відходів може бути порівняна з кількістю продукції, що випускається

Закінчення табл. 9.10

1	2	3	4
5	Кріогенні технології	Сушка шляхом заморожування необхідного розчину з подальшим скиданням тиску нижче рівноважного	Відходи у вигляді залишків розчину
6	Електронні променеві технології	Нагрівання в вакуумних електронно-променевих установках перед випаровуванням з подальшим швидким охолодженням в газі	Відходи у вигляді забрудненого газу і незахоплених наночастинок

Таблиця 9.11 — Стан і властивості технологій виробництва наноповітряних і наноплівкових стосовно процесів утворення відходів

№	Найменування нанотехнології	Особливості нанотехнології	Відношення до утворення відходів
1	Механічні технології	Зміна структури речовини в зоні накладення механічної обробки, наприклад, алмазної голкою. Програмовані мікродефекти	Без істотних матеріальних відходів
2	Тунельно-зондові технології	Тунельно-зондовий масообмін з метою нанесення літографічної обробки на заздалегідь підготовлену поверхню гостроспрямованим електронним пучком	Без істотних матеріальних відходів
3	Електро-пластичні технології	Управління механічними властивостями твердих поверхонь за допомогою електричного поля. Електро-пластичний ефект Дюфура	Без істотних матеріальних відходів
4	Рентгенівські технології	Вплив рентгенівських випромінювань на поверхні напівпровідникових кристалів, з незворотними змінами структури, електрофізичних і оптичних властивостей на поверхні напівпровідників	Відсутність значних матеріальних відходів. Можливі відходи пов'язані тільки з неякісною або незапрограмованою переробкою наночастинок
5	Вирощування наноструктурованих плівок	Створення на підкладці перехідного однорідного тонкоплівкового шару з подальшим нарощуванням наноструктурованої плівки на її поверхні	Мікроструктурні відходи при очищенні поверхні підкладки

Таблиця 9.12 — Стан і властивості технологій виробництва сипучих наноструктур стосовно процесів утворення відходів

№	Найменування нанотехнології	Особливості нанотехнології	Відношення до утворення відходів
1	Консолідація методом термоспінання	Термічне спікання під високим тиском (5 ГПа) при досягненні відносної щільності до 95%. Розмір зерен 30 нм	Без значних матеріальних відходів. Тепловтрати
2	Консолідація методом пресування	Гаряче ізостатичне пресування при відносно низькому тиску, але при високих температурах і більш тривалому часі витримки. Розмір зерен 100 нм	Відсутність значних матеріальних відходів. Можливий просип матеріалу
3	Консолідація шляхом кування	Спікання шляхом кування з нанозернистістю до 90 нм	Втрати просипом сировини
4	Використання енергетичних полів	Електро-індуктивне, плазмове або мікрохвильове спікання	Без значних матеріальних відходів, тепловтрати

Встановлено, що нові фізико-хімічні методи осадження дозволяють синтезувати та стабілізувати достатньо складні нанокристалічні системи, які потім можуть бути використані у вигляді елементів екологічно чистих матеріалів з новими властивостями. Зокрема, застосування нанорозмірних реагентів для каталітичних реакцій дозволяє різко збільшити їх швидкість, збільшити вихід корисного матеріалу при різкому скороченні відходів, в тому числі у вигляді відпрацьованого каталізатора.

Використання матеріалів у наноструктурах для переробки вже існуючих відходів на цей час є ефективним підходом до вирішення цієї проблеми. Прикладом може служити використання нанорозмірних частинок TiO_2 попередньо опромінених ультрафіолетовим потоком для окислення органічних відходів. Або — використання наночастинок після відповідної хімічної обробки їх поверхні для ефективного зв'язування молекул важких металів. Наноструктуровані мембрани та сорбенти широко використовуються для очищення рідких і газоподібних відходів, захисту від різних випромінювань. Той же діоксид титану у вигляді плівки з довгих нанодротів, одержуваний шляхом гідротермального нагріву, є дуже перспективним конструкційним матеріалом для тривимірних виробів. Зокрема, з його допомогою можна організувати практично безвідходне виробництво одноразового посуду, засобів гігієни, хімічного посуду і т.д. Такі вироби витримують температуру до 700 °С.

Володіючи такими чудовими особливостями, нановиробництво не може не дивувати своєю специфікою в області утворення відходів. Як тут проявляється ефект «розміру», ми поки не знаємо.

Наноструктуровані матеріали самі по собі мають здатність забруднювати навколишнє середовище, створюючи в повітрі небезпечні для організму ультрадисперсні аерозолі. Крім того, наночастинки в повітрі здатні самозаряджатися одиничними позитивними або негативними зарядами, коагулюватися в більші конгломерати частинок і впливати на дихальну систему і шкіру людини.

Можна тільки здогадуватися, що невеликі розміри наноструктур, підвищена щільність їх «упаковки», жорстко структурована база сировини дозволяють, в принципі, прогнозувати нанотехнології максимально наближеними до безвідходних. Безумовно, повинні бути втрати енергії, порівнянні з базовою шкалою одержуваних продуктів. Згідно з математичним моделюванням, виконаним М. Ральфом [34], енергія, що необхідна для роботи одного нанорецептора, призначеного для структурування молекул плоского антрацену в наноструктуру, має становити не менше 80–95 кДж/моль. Навіть якщо втрати енергії складуть 20% від витрат, виробництво однієї нанотрубки довжиною 2 мм (фактичний розмір отриманих сьогодні нанотрубок) буде супроводжуватися втратами тепла аж до $6 \cdot 10^3$ кДж/см лінійної довжини продукту. Крім того, маючи таку щільність енергії в нанотехнологічних системах, останні повинні мати ефективні засоби охолодження зовнішньої оболонки і макровузлів збірки. Згідно з [34], номінальна потужність, що необхідна для збірки вуглецевих нанотрубок, складає 200 кВт. Ця величина може бути використана для оцінювання втрат тепла в макрочастинках гіпотетичної нанофабрики. Втрати енергії вражають.

Повинні також бути присутніми відходи на попередніх етапах підготовки сировини, розробки спеціального обладнання. Однак якщо співвідносити функціональність отриманого нанопродукту і його абсолютні відходи, то це співвідношення для нанопродуктів і макропродуктів має відрізнитися на кілька порядків на користь перших.

Не можна сказати, що технології створення наноматеріалів і їх низький рівень відходів нерозривно пов'язані між собою. Є приклади іншого рівня. Сибірське відділення РАН створило промислову електронно-променеву установку для випаровування оксидів кремнію, магнію, металів — алюмінію, танталу, молібдену, нікелю, срібла, напівпровідникових матеріалів, нітридів та інших речовин під впливом релятивістського концентрованого електронного пучка при атмосферному тиску. Згідно з технологією, оксид або металева пара швидко охолоджується в газоподібній атмосфері, речовина конденсується у вигляді конгломератів полідисперсних наночастинок [35]. У вигляді відходів відбувається забруднення газу (повітря, азот, аргон, ксенон, гелій), а також окремі наночастинки, розсіяні в газовому потоці. Причому кількість останніх становить до 10% (за масою) від продукції. Якщо брати в абсолютних величинах, з урахуванням високої

поверхневої ефективності таких частинок, то це порівняно невеликі відходи. Наприклад, при продуктивності установки 20 кг на годину добова продуктивність сміттєпереробного заводу становить не більше 40 кг пилу і майже 2000 м³ забрудненого газу. Важливо, що такий ультрадисперсний пил вкрай небезпечний для вдихання людиною. Потрапляючи в найглибші альвеоли легенів, він здатний викликати там незворотні руйнівні процеси.

Такі плівки і покриття мають найрізноманітніші властивості, які роблять їх дуже корисними в різних сферах промисловості і побуті. Наприклад, відомі високоефективні радіопоглинаючі властивості фарб з наночастинками металу. Трубчастий волокнистий графіт має високі захисні властивості від лазерного випромінювання.

Одним із вагомих результатів використання наноплівки та наноструктурованих покриттів у промисловості є зниження витрат на поточний ремонт обладнання, підвищення енергоефективності, забезпечення високого рівня енергозбереження, що само по собі є реальним фактором зменшення утворення відходів.

До об'ємних нанопродуктів, технологія яких вже відпрацьована, відносяться, наприклад, вуглецеві нановолокна «Tgunit», що застосовуються в якості наповнювачів для полімерів і еластомерів, матеріали з радіопоглинаючими властивостями. До реальних технологій для цієї частини нановиробництва відноситься створення цілого комплексу конкуруючих нанодобавок для автомобільних оливи, антифрикційних матеріалів, автополіролей, самоочисних скляних покриттів на основі частинок серпентиніту і нанодіамантів. Вуглецеві трубки, створені методами нанотехнологій, здатні бути утримувачами водню, з дуже високою щільністю зберігання речовини на одиницю маси вуглецю [36]. Це робить такі трубки дуже перспективними «накопичувачами» енергії.

Більшість цих та інших технологій вже достатньо описані в спеціалізованій літературі [37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 та ін.], що дає можливість порівняти їх з метою визначення місця таких технологій із позицій утворення промислових відходів.

Сьогодні ми маємо право очікувати від існуючих нанотехнологій наступних результатів:

1. Отримання виробничих потужностей із низьким рівнем утворення відходів замість традиційних виробництв із великими обсягами відходів однакової продуктивності. До них відносяться технології осадження і кристалізації білків, десорбція деяких забруднень, управління колоїдними дисперсіями, створення хімічно модифікованих біоплівки і мембран.

2. Створення виробництв, які дозволяють отримувати більш легкі і дрібні вироби при збереженні їх функціональності, але які при цьому мають менші витрати матеріалів і енергії. Наприклад, виробництво оптичних пасток для різних видів випромінювання, створення лазерного пінцета для утримання біологічних тканин, анімованих наносенсорів для медичного спостереження за пацієнтами, розробка наноструктурованих матеріалів, наприклад, замовленого мезопористого

матеріалу МСМ-41 із заданими хімічними властивостями, пористістю, потрібним розміром зерен (на основі робіт *J. J. Wise* і *Mobil Oil*).

3. Створення продуктів не методами «відділення часткового від загального», а методами композиції і синтезу продуктів «для отримання загального з'єднанням часткового».

Таким чином, розвиток сучасної наноіндустрії дозволив створювати абсолютно нові хімічні матеріали, частинки з новими оптичними властивостями, впроваджувати нові методи в генну інженерію. Однак найбільш перспективним, але все ще маловивченим напрямком нанотехнологій є наномеханіка і будівельна наноінженерія, створення наномеханізмів і синтез наносистем.

В основі типової нанотехнології, на думку Г. Дреклера, лежить керований механосинтез, який полягає в компіляції окремих субмолекул з атомів шляхом їх механічного наближення до тих пір, поки не вступають в силу відповідні хімічні та електронні зв'язки. Наступним кроком має стати створення самовідтворюваних наноасемблерів, за допомогою яких можна проєктувати великий клас нанопродуктів. Такий підхід, коли нові функціональні продукти отримують шляхом певної структуризації і синтезу з окремих наночастинок, може забезпечити мінімально можливе утворення відходів виробництва на рівні запрограмованого термодинамічного мінімуму.

Для реалізації таких нанотехнологій необхідна сировина у вигляді строго відсортованих атомів і молекул, специфічні наноманіпулятори, здатні захопити потрібний атом, перемістити його в потрібну точку простору і «притиснути» до інших наноструктур. Як правило, в якості сировинної бази в нанотехнологіях виступає невеликий перелік атомів окремих компонентів — вуглецю, кремнію, водню, азоту, кисню, заліза та інших елементів у менших кількостях.

З точки зору ідеології, а також методологічно такі підходи важливі для нас, перш за все, тому, що підтверджують правильність напрямку до створення технологій, заснованих на глибокій обробці *всіх* (!) без винятку компонентів вихідної сировинної бази з метою доведення їх до певного корисного виду. У порівнянні з тим, що існуючі технології, як вже неодноразово було показано вище, методологічно засновані на поділі потрібних і непотрібних компонентів первинної сировинної бази і формуванні на цій основі матеріальних потоків корисних продуктів і відходів.

Звичайно, при створенні механосинтезу та інших подібних нанотехнологій ми зіткнемося з тим, що утворення відходів буде «мігрувати» з основного виробництва в допоміжне, наприклад, при підготовці однорідних компонентів вихідної сировини. Але це буде нове завдання.

9.6. Деякі сучасні підходи до контролю якості питної води

Якість питної води залежить від її чистоти відносно розчинених і зважених в ній речовин, що впливають на організм людини. Очевидно, що циркуляцію в системі «вода — забруднення», включаючи, водопідготовку, можна віднести до виробничих систем, пов'язаних з мінімізацією утворення відходів. Крім того, виникає необхідність враховувати й інші її властивості, які вкрай важливі для даної рідини в разі її використання людиною. Зокрема, вода, щоб бути біологічно сумісною з організмом людини, повинна володіти певними структурними та енергетичними властивостями [44, 45, 46, 47, 48].

Давно відомо, що чистота води — це стан відносний. Наприклад, лікарі одноголосно чинять опір постійному вживанню дистильованої води, яка майже не містить додаткових речовин, мінералів, до яких людина звикає і яких відчайдушно потребує організм.

Абсолютно чистої води в природі не існує. Вода буває багатокомпонентною і багатофазною за змістом. Той факт, що вода розчиняє практично все, робить її не просто універсальною речовиною. Розчинення у воді — чисто термодинамічний процес, в основі якого лежать умови фазової рівноважності. Рідка вода, або правильніше сказати, водний розчин, являє собою термодинамічно нерівноважну систему зі стійкістю, яка змінюється в процесі розчинення, і в якому постійно змінюються структурні елементи найрізноманітнішого складу [49, 50]. У воді відбувається постійний енергетичний обмін, в якому беруть участь атоми водню і кисню, які за допомогою водневих зв'язків транзитують коливальну енергію атомів однієї молекули в енергію її зв'язку з іншими молекулами. У цьому обміні бере участь енергія резонансних міжмолекулярних коливань. При цьому відбувається обмін квантами енергії (так званий $V-V$ обмін), за допомогою випромінювання фотона світла однією молекулою і поглинання його атомами іншої молекули. По суті, ці процеси такі ж миттєві і короткочасні, як і тривалість життя основних структурних елементів води, і залежать від її енергетичного стану [51, 52].

Вода з розчищеною в ній речовиною набуває деяких проміжних, як мінімум двофазних, а найчастіше і багатофазних властивостей. Причому в залежності від стану інших фаз (рідкої, твердої або газоподібної) розчин вже апіорі отримує різний енергетичний вміст [53].

Уявімо собі природну воду як багатофазну речовину «М», коли основною фазою є безпосередньо шукана рідина — вода [54]. А у вигляді інших фаз ми можемо мати розчинений газ (розчинені у воді мікробульбашки будь-якого газу, в тому числі і ті, які вступили в хімічний зв'язок з молекулами H_2O), тверду речовину (будь-який дрібнодисперсний компонент, включаючи лід, як елемент двокомпонентної рідини), рідину (у вигляді деяких споріднених молекулярних

сполук, структурованих особливим чином у складі води, або інша рідина, розчинена у воді). Слід зазначити, що вода в живій біологічній клітині — це теж розчин, тільки біологічно впорядкований. Енергія цього розчину залежить від ступеня самоорганізації біологічної клітини, і, зокрема, від швидкості зростання ентропії середовища, яке оточує цю клітину [54] та від її структурованості.

Зробимо ще одне припущення. Друга фаза, незалежно від описаного змісту, буде розглядатися як чужорідна, присутня у вигляді якогось фактору потенційного відторгнення по відношенню до гіпотетичної абсолютно чистої H_2O . Тоді розрахункове значення енергії абсолютно чистої води по відношенню до енергії фактично «забрудненого» за рахунок деякої другої фази розчину можна порівняти. Спробуємо активувати такий розчин деяким енергетичним ефектом, наприклад, електромагнітним полем за принципом, викладеним у [55].

Енергетику такої змішаної водної системи (розчину) можна визначити у вигляді енергетичного функціоналу $F(\epsilon_{\Sigma} \times \nu)$, де ϵ_{Σ} — діелектрична проникність водного розчину, ν — частота зовнішнього електромагнітного поля.

Такий функціонал може приймати форму екстремуму або функції насичення. В залежності від типу чужорідної фази у воді. Якщо це така рідина, як вода у вигляді фулеренів, то $\epsilon_{\Sigma} = \epsilon_{H_2O}$. Для газоподібних і твердих включень у воді

$$\epsilon_{\Sigma} = \frac{H_2O \cdot x}{H_2O + x}. \text{ Тоді функціонал } F(\epsilon_{\Sigma} \times \nu) \text{ в залежності від масових характеристик}$$

(в загальному вигляді: $\lambda = x'_i/x_p$ де x_i — масова характеристика ентропозалежної системи, x'_i — відторгнута частина маси неоднорідного водного розчину) також буде мати вигляд екстремуму або функції насичення.

Виробництво ентропії нової водної структури, що містить певну кількість сторонніх компонентів, розраховується традиційно, як

$$\Delta S = C[\ln(T_c \cdot T_p^{-1}) + \ln(T_c \cdot T_n^{-1})]. \quad (9.5)$$

Величина енергетичного параметра, що відповідає за структурні зміни води до стану структури M_2 (розчину), визначається за формулою

$$\Delta E = (E_2 - E_k) \frac{1 - \exp[-k_2(T - T_k)]}{1 - \exp[-k_2(T_2 - T_k)]}, \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{с}} \right). \quad (9.6)$$

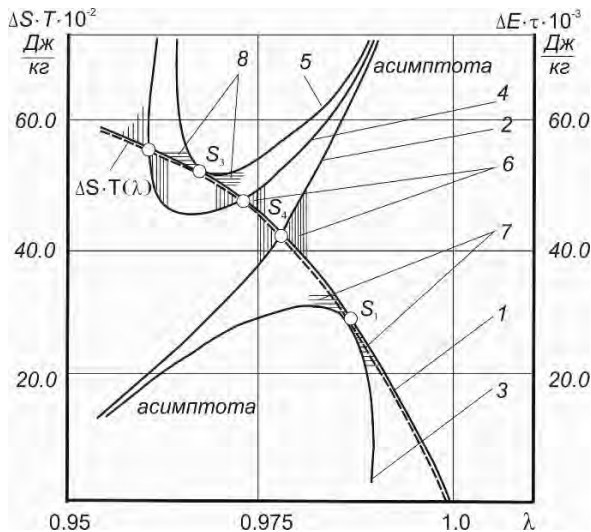
В якості такого параметру приймемо енергію, яка витрачається на перетворення (розчинення, в тому числі) стороннього компоненту, що відноситься до приведеної маси розчину за одиницю часу. Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 9.13.

У порівнянні з феноменологічною кривою 1 узагальненого водного розчину, розрахованою за описаною вище методикою, можна отримати розрахункові значення стійких рівноважних станів системи « H_2O — чужорідні включення»

(рис. 9.8). На феноменологічній кривій 1 в області $0,95 < (\lambda = x'_i / x_i) < 1,0$ є спряжені точки S_1, S_3, S_4 , які одночасно належать розрахунковій кривій 3, 4, 5 відносно прийнятого енергетичного параметру водного розчину в заданому інтервалі температур і феноменологічній кривій 1. Сполучені точки перетину феноменологічного графіка і кривих структурних енерговитрат у зв'язку з розчиненням певного компонента дають уявлення про умови фазових переходів у водних розчинах з позиції їх впорядкованості. Очевидною є асимптотична збіжність кривих структурної енергетики системи « H_2O — тверде тіло» і « H_2O — гази» в систему « H_2O — інша рідина» як рівнофазні розчини.

Таблиця 9.13 — Вихідні дані для розрахунку енергетичних витрат на графіку феноменологічної кривої розчину води зі сторонніми включеннями різних типів

№	Найменування показників	Розмір
1	Маса води, кг	1,0
2	Інтегральна маса включень, кг	$1 \cdot 10^{-4}$
3	Температура води, H_2O , К	293
4	Температурний діапазон газової складової у воді, К	293–393
5	Діапазон температур твердого компонента у воді, К	273–293
6	Діапазон температур рідкого компонента у воді, К	273–393



1 — феноменологічна водна крива; 6 — область термодинамічної нестійкості двофазних розчинів; 7 і 8 — області термодинамічної стійкості двофазних розчинів

Рисунок 9.8 — Термодинамічна стійкість двофазних водних розчинів, у складі « H_2O — рідина» (2), « H_2O — газ» (3), « H_2O — лід» (4) і « H_2O — тверда частинка» (5)

В околі точок S_1 і S_3 , що належать до водних розчинів твердих і газоподібних сторонніх компонентів, система володіє термодинамічною стійкістю, а в околі точки S_4 («вода — вода») — відповідною термодинамічною нестійкістю. Це ще раз підтверджує, що в природі дуже складно знайти умови термодинамічної стійкості абсолютно чистої води, а значить, і стабільного існування такої абсолютно чистої рідини. Звичайно, чиста вода навіть при переході в стан льоду являє собою явно нестійку систему (крива 4) і прагне до тієї чи іншої рівноважності. Термодинамічно стійкими можуть бути тільки розчини на водній основі. Чому?

Можливо, це питання перейде від статусу риторичного до статусу світоглядних питань, беручи до уваги як феномен *поширеності* води, так і феномен її універсальності як *розчинника*. *Важко повірити в такі унікальні і одночасні збіги для однієї і тієї ж речовини, як поширеність і універсальність у будь-яких властивостях. І такими якостями володіє саме вода.*

Г. Льюїс показав, що самоорганізація, як фактор отримання інформації, пов'язана зі зменшенням ентропії системи. Це виходить з другого закону термодинаміки, в тому числі стосовно до інформаційних систем. Дійсно, існує якісна логіка в тому, що зі збільшенням інформації впорядковуються окремі частини системи (зокрема, молекулярні конгломерати води), до яких відноситься ця інформація. Відбувається самоорганізація системи, а значить сумарна ентропія системи, як міра її розладу, повинна зменшитися. Таким чином, можливе структурування води є не чим іншим, як відображенням зменшення її ентропії. Якщо це так, то слід розрахунково отримати хоча б більш низький рівень позитивної динаміки ентропії води за рахунок її структурування. Не слід забувати, що структурна «самоорганізація» води відбувається кожні $(10^{-16} \div 10^{-7})$ с [55]. І кожна з цих «самоорганізацій» повинна поглинати певну кількість енергії із зовнішнього середовища?

Очевидно, що сумарна ентропія H_2O не є простим об'єднанням ентропії двох її складових елементів, як у рідкому, так і в газоподібному стані (табл. 9.14).

Таблиця 9.14 — Динаміка стандартної молярної ентропії води і складових її елементів, Дж/(моль·град)

Стан	H_2O	O_2	H_2
Твердий	22,0	42,0	—*
Рідкий	69,96	84,0	8,1**
Газоподібний	188,74	205,0	131

* — затвердіння рідкого водню відбувається при $T = 14$ К;

** — ентропія плавлення водню і дейтерію при середній відстані між молекулами рідкого H_2 в діапазоні 0,45 нм.

Зменшення ентропії води, якщо вона має якусь структурованість (форма і методи тут не розглядаються), можливо, наприклад, за рахунок зменшення ентропії складових елементів — кисню і водню. Якщо брати до уваги досліджен-

ня про бінарні відносини ОРТО- і ПАРА-спінових моментів у молекулі води, то саме їх численні і нескінченні взаємні перетворення повинні дати зменшення інтегральної ентропії для безлічі впорядкованих молекул води (С. М. Першин). Якщо С. В. Зенін правий, і інформаційний ресурс води пов'язаний з відображеннями в структурі міжмолекулярних асоціацій і їх послідовною ретрансляцією енергії, то впорядкування у воді відноситься до молекули в цілому, і тоді треба відстежувати ще й зменшення ентропії H_2O в цілому. Гідних досліджень у цій області поки не існує.

Важливий аргумент на користь того, що структуризація води представляє можливість не тільки для її впорядкованості, але і для збільшення можливого біологічного потенціалу, дають нам досліди зі спеціально структурованими водами — активованими, намагніченими, талими та іншими. Очевидно, що інтегральна ентропія такої води повинна бути нижчою, ніж у звичайної води. Принаймні, деякі літературні джерела це підтверджують [56, 57, 58, 59, 60, 61, 62].

Повторимося, що з точки зору термодинаміки будь-яку природну воду можна представити у вигляді бінарної системи типу « H_2O — ...», де другим компонентом може бути деякий газ, розчинений у воді, інша рідина або її розчин у воді, тверді частинки або лід. Всі ці бінарні системи можуть перетинатися одна з одною, складаючи багатокомпонентну суміш, яка і називається «природна вода».

У термодинамічному сенсі така структурована система має свої енергетичні особливості, пов'язані, перш за все, із взаємодією компонентів. Відомо, що ентропія функціональної бінарної системи завжди більша, ніж ентропія окремих її компонентів. У загальному випадку ентропія багатофазної бінарної системи, заснованої на H_2O , повинна визначатися відомим виразом

$$S_{\text{H}_2\text{O}}^0 = \int_0^{T_{\text{пл}}} \frac{C_p^{\text{тв}}(T)}{T} dT + \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}} + \int_{T_{\text{пл}}}^{T_{\text{кип}}} \frac{C_p^{\text{ж}}(T)}{T} dT + \frac{\Delta H_{\text{исп}}}{T_{\text{пл}}} + \int_{T_{\text{кип}}}^T \frac{C_p^2(T)}{T} dT,$$

який визначається його фазовими співвідношеннями, а в граничному випадку, — його фізико-хімічними реакціями.

Ентропія речовини залежить від її агрегатного та ізотопного стану, фазових переходів, чужорідних включень та їх хімічних реакцій. У найпростішому випадку розрахункове значення абсолютної ентропії чистої рідкої води визначається як функція температури і знаходиться, наприклад, у діапазоні від ~ 69 Дж/(моль \cdot К) при температурі плавлення до ~ 91 Дж/(моль \cdot К) при наближенні до температури кипіння ($\Delta S^0 = 22,07$ Дж/(моль \cdot К)). Ці величини можуть мати варіацію в залежності від компонента бінарної системи « H_2O — лід», « H_2O — рідина», « H_2O — тверда частинка», « H_2O — газ» (рис. 9.9). Особливості таких бінарних систем (розчинів, включаючи гази, суспензії, колоїди, хімічні реагенти та ін.) істотним чином впливають на термодинамічні параметри самої води. Слід розуміти, що

показана на рис. 9.9 залежність $S_{H_2O}(T)$ носить розрахунковий характер і є нижньою границею, до якої повинна прагнути ентропія бінарної системи, на основі рідкої H_2O . Ентропія абсолютно чистої рідкої води представляється у вигляді деякої розрахункової теоретично нижньої межі цієї величини, якої не існує в природі. В рівній мірі, як і лід при $t = -273^\circ\text{C}$ має теоретично рівну нулю ентропію, якої на нашій планеті не існує.

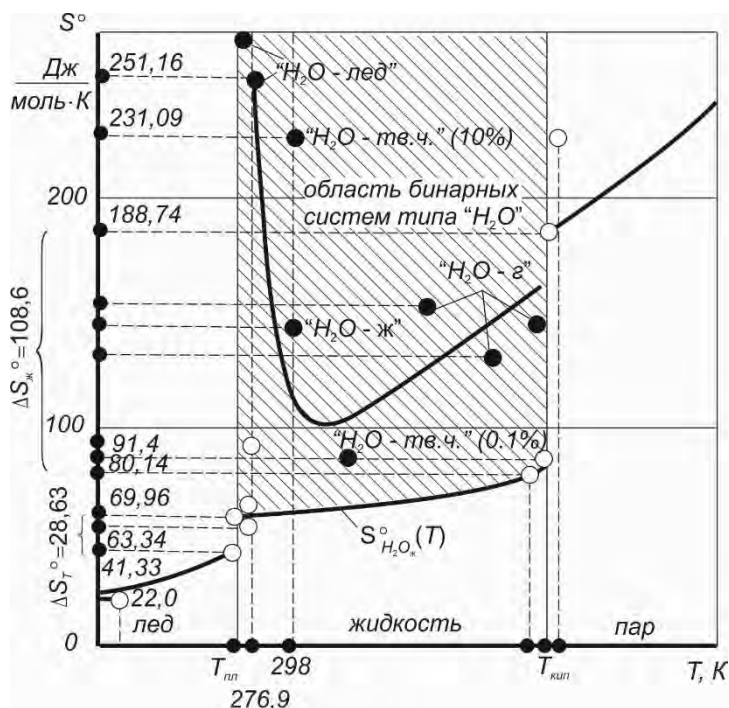


Рисунок 9.9 — Якісна ентропія бінарних систем типу « H_2O — ...»

У цьому сенсі рідка вода дає нам ще одну практично недосягну параметричну границю у вигляді шкали мінімально можливої для неї ентропії. Підставою для цього твердження є, крім усього іншого, недосяжність абсолютно чистого стану води, пов'язаного з фізико-хімічною активністю цієї речовини. Якщо це так, то можна сказати, що впорядкованість особливих типів води і більш низьке значення їх ентропії в порівнянні зі звичайним водним розчином можуть служити показником їх підвищеного біологічного потенціалу, що, в свою чергу, робить їх корисними для людського організму.

Це означає, що будь-яка впорядкованість структури води, зокрема приготовленої певним чином (талого, конденсату, омагніченої, електролітично обробленої і т.д.), має свої цілком певні термодинамічні характеристики, контроль за якими може дати людині інструменти створення і контролю стану питної води, яка має бути адаптованою найкращим чином до потреб біологічного організму.

Не виключено, що масове виробництво і споживання такої структурованої води в організаційно-технічному плані буде утруднено. Така вода повинна мати вигляд товарної продукції зі своєю вартістю. Але вона має право на існування.

9.7. Відходи в технологіях переробки відходів

Будь-які методи переробки відходів — це нові технологічні процеси. І як будь-який технологічний процес, вони не можуть протікати без залучення в нього нових джерел енергії, та без утворення нових відходів. Сировинною базою таких технологічних процесів є первинні відходи деяких виробництв (або постексплуатаційні відходи колишньої їх продукції), а база відходів — це матеріальні та енергетичні втрати фактичних процесів їх переробки. Для простоти назвемо ці нові відходи як «втрати». Це втрати від переробки відходів. Найпростіше, будь-яка переробка відходів пов'язана з їх знищенням (найчастіше, спалюванням) або, що більш важке завдання, наданням їм нових якостей корисних продуктів. І чим менше буде «втрат», тобто «відходів від переробки відходів», тим ефективнішою повинна бути ця переробка. Тому методи переробки первинних відходів — це технологічні процеси, в результаті яких ми отримуємо нові відходи. І так, у теорії, до нескінченності.

Як приклад розглянемо технології переробки відходів радіоелектронної промисловості (РЕА), в тому числі її післяексплуатаційні відходи. Ці відходи стають все більш відчутними через різке збільшення кількості електронної техніки як у промисловості, так і в побуті. Але, крім того, підвищується рівень токсичної небезпеки великої кількості таких відходів. Доводиться стверджувати, що з розвитком комп'ютерної техніки, інформаційних мереж, нових систем забезпечення в авіації і космонавтиці, оборонних електронних засобів, освітлювальних приладів нових поколінь, локальних джерел енергії у вигляді одно-разових батарейок, акумуляторів і т. д., небезпека накопичення таких відходів стає надзвичайно високою, а їх утилізація багато в чому актуальна [63, 64, 65].

Деякі види відходів, що підлягають переробці в РЕА, представлені в табл. 9.15 [66].

Слід зазначити, що Таблиця містить дані про декілька технологій утилізації відходів електронного обладнання, зокрема, оплавлення, тіосульфатне вилуговування, електролітичне розділення металів, осадження, гідросепарація, механічна сепарація, поверхнева кристалізація та ін. Це, перш за все, дорогоцінні, рідкоземельні, а також кольорові метали. Тому цінність такої утилізації досить висока. Але при цьому залишається у вигляді «втрат» приблизно така ж кількість початкових відходів РЕА, серед яких пластик, скловолокно і керамічні матеріали, які утилізуються лише на 15–25% як вторинна сировина в невеликих кількостях, і це робить їх переробку малорентабельною в умовах РЕА. Спробуємо розрахувати енергоентропіку таких технологічних процесів, щоб показати рівень їх ефективності.

Таблиця 9.15 — Матеріальні потоки в технологіях переробки відходів РЕА

№	Найменування матеріалу	Кількість матеріалу*, кг/кг
Сировинна база технологічного процесу («О ₁ »)		
1	Сплави алюмінію, міді, заліза, бронзи, латуні	0,3–0,45
2	Рідкоземельні метали, паладій	0,05–0,09
3	Дорогоцінні метали	0,015–0,03
4	Скляна тканина	0,1
5	Пластмаси: поліетилен, полістирол, полівінілхлорид, карболіт	0,15–0,25
6	Кераміка	0,05–0,13
7	Металоконцентрати	0,25–0,30
	ВСЬОГО:	~1,00±0,08
Продукційна база («П ₁ »)		
1	Перероблений брухт дорогоцінних металів: – золото; – срібло; – паладій	~0,015–0,029 в т.ч.: 0,0068–0,0285 0,0081–0,0245 0,05–0,085
2	Перероблений металевий брухт: – алюміній; – мідь; – залізо; – нікель; – бронза; – латунь	0,28–0,45 в т.ч.: 0,05–0,07 0,15–0,23 0,01–0,03 0,005–0,01 0,03–0,07 0,035–0,04
	ВСЬОГО:	≤0,594
«Втрати» від технологічних процесів переробки відходів «О ₁ »		
1	Полімери	0,15–0,18
2	Згорілий пластик, картонна зола, гумова зола	0,01–0,07
3	Кераміка	0,01–0,13
4	Золото, срібло, рідкоземельні метали	<~1,5·10 ⁻⁵
5	Вода, забруднена залишками гідротехнологій	10–14**
6	Органічні забруднювачі технологічних кислот (шлам)	0,015–0,055**
7	Пил зі скловолокна та обрізки скловолокна	0,10
8	Металевий пил і неврахований брухт	0,10–0,15
	ВСЬОГО:	≤0,63

* — цифри оціночні і залежать від виду технології переробки окремих відходів;

** — допоміжні компоненти в технологіях.

Неважко побудувати феноменологічні криві виду $\sigma(\lambda = \frac{X'}{X})$, що відображають динаміку зміни ентропії таких процесів, використовуючи для цього рівняння (6.7) (гл. 6). Тут X — загальна силова характеристика, що викликає зміну всієї ентропії системи, специфічна для різних технологій, X' — сили, що забезпечують перетворення частини відходів « O_1 » в корисну продукцію « Π_2 ». При цьому частина сил $X'' = X - X'$ співвідноситься з величиною $(1 - \lambda)$ (рис. 9.10) і відображає безповоротні втрати « O_1 ». З огляду на те, що зміна ентропії залежить від великого переліку зусиль, що накладаються, в тому числі і за їх якістю, треба розглядати енергетичну систему перетворення відходів у корисні продукти по всьому діапазону кривих від $X_i = 0$ до $X_i \neq 0$ (сімейство кривих від (0) до (n)) в залежності від виду технологічного процесу переробки конкретного первинного відходу.

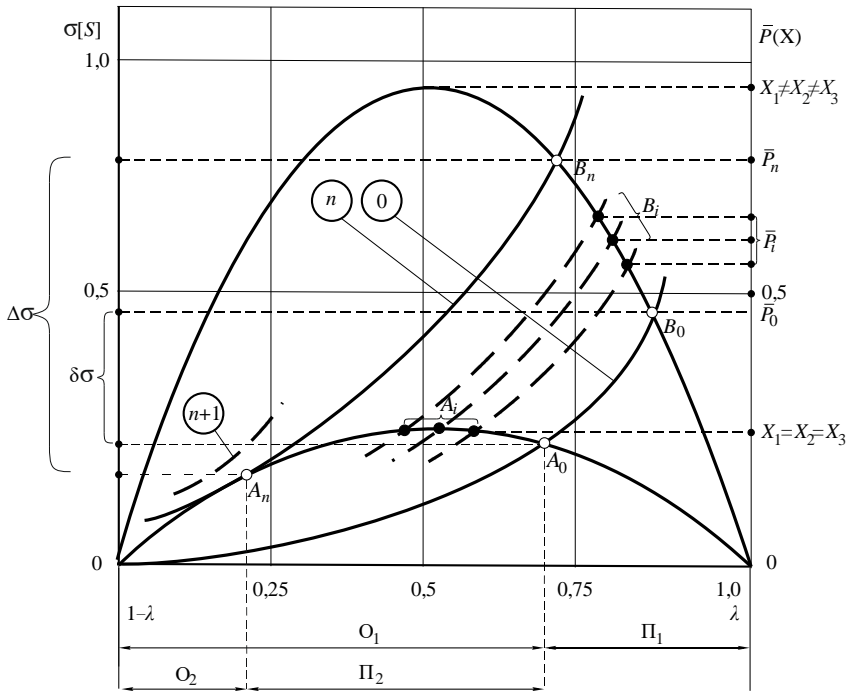


Рисунок 9.10 — Феноменологічна крива утворення відходів при реалізації деяких технологій переробки відходів електронної техніки. (Позначення в тексті)

Сімейство кривих $(0 \div n)$ виду $\bar{P}(\lambda)$ представляє характеристики, що приведені до максимальних енерговитрат $\bar{P}(X_i)$ від джерел енергії різних типів: механічних, теплових, хімічних, електричних, магнітних і т.д., які покликані для забезпечення прийнятих технологій переробки первинних відходів від РЕА (табл. 9.16). В межах ліміту дана енергетична характеристика не повинна

за поточними значеннями перевищувати розмір $\sigma(\lambda)$ для умови координатного співвідношення сил $X_1 = X_2 = X_3 = 0$ (точки $A_i, i=0,1, n$) і $X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq 0$ (точки $B_i, i = 0,1, n$) відповідно.

Таблиця 9.16 — Деякі енергетичні параметри технологічних процесів, що можуть застосовуватися для утилізації відходів РЕА

№	Найменування технологічного процесу	Контрольований параметр, X_i	Одиниця виміру	Величина (діапазон)
1	Оплавлення	Теплоємність	кДж/(кмоль·К)	24,47–26,4*
2	Гіосульфатне вилуговування	Кінетика хімічних реакцій	–	–
3	Електроліз	Електрохімічний еквівалент	кг/(А·ч)	$3.36 \cdot 10^{-4}$
4	Осаджування металів	Концентрація відновника	Моль/дм	0,05–0,6
5	Магнітна сепарація	Магнітна сприйнятливність	кДж/кг	–
6	Спалювання	Теплота згоряння	кДж/кг	$(62-250) \cdot 10^3$
7	Механічне дроблення, подрібнення	Енергія пластичної деформації	кДж/кг	–

* — для металів з числа утилізованих тепловим впливом в РЕА.

На графіку (рис. 9.10) показана область точки A_n , дотичної до феноменологічної кривої, яка обмежує величину приведених зусиль, що витрачаються на отримання готового продукту РЕА, і пов'язані з цим відходи. Гранична точка A_n дає нам верхню границю лімітування приведених сил, завдяки чому частина відходів « O_1 » переробляється в корисні продукти вторинної переробки « P_2 » і з'являються безповоротні втрати у вигляді « O_2 ». В кількісному відношенні зусилля щодо створення корисних продуктів « P_2 » в системі переробки первинних відходів такі, що близько половини з них можна перетворити в корисну продукцію, а третина — це безповоротні втрати.

Ціна переробки таких відходів — максимальне збільшення ентропії всієї системи (див. рис. 9.10). Тут $\delta\sigma$ — мінімальна зміна ентропії переходу між станами системи, для яких $X_1 = X_2 = X_3 = 0$ і $X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq 0$, а $\Delta\sigma$ — максимальна зміна ентропії переходу між одними і тими ж станами. Тоді $(\Delta\sigma - \delta\sigma)$ представляє досить високу межу можливого діапазону зміни ентропії, який у кінцевому результаті відповідає значенню « O_2 » — безповоротним втратам. Точки B_i по кожній з технологій (табл. 9.16) відображають максимальне значення ентропії, яке пов'язане з переробкою первинних відходів до товарного стану. Це говорить про дуже високу енергоємність таких процесів утилізації. При цьому точок зі значеннями $(n + 1)$ за логікою бути не повинно.

З семи початкових компонентів бази відходів чотири відмінно утилізуються і складають нову продукційну базу. А п'ять з них не підлягають вторинній переробці і складають нову базу відходів. Це безповоротні втрати (табл. 9.15).

Крім того, в якості допоміжних компонентів у технологіях використовуються вода, технологічні кислоти і електролітичні рідини, з яких складаються вже нові відходи — за нашою термінологією «втрати». Їх мінімізація також є викликом для наших досліджень. Тільки вона складається з двох частин: отримати товарну продукцію безпосередньо з відходів РЕА і мінімізувати «втрати» від цих технологій. Таким чином, база «втрати» від технологій переробки відходів РЕА складе ті ж самі сім компонентів, що включала в себе база відходів самого РЕА. Очевидно, що повинен бути інший вихід у впровадженні технологій утилізації РЕА. Ця особливість стосується багатьох технологій утилізації та переробки первинних відходів.

Таким чином, переробка відходів — це той же технологічний процес перетворення деяких компонентів у корисні продукти, тільки він більш енергоємний. Для таких технологій сировинною базою є відходи основного виробництва або післяексплуатаційні відходи готової продукції. В результаті такої переробки з'являються нові, практично безповоротні відходи, величина яких повинна мінімізуватися, що, в даному випадку, ускладнює їх використання для подальшої ефективної переробки, хоча б за причиною високої енергоємності. В цілому будь-яка утилізація відходів, що пов'язана з реалізацією для цієї мети певних технологій, призводить до утворення нових відходів з максимально можливою ентропією. Такі особливості стосуються і енергетики технологій переробки первинних відходів. Зокрема, вони пов'язані з відходами у вигляді теплової енергії, що в даному випадку також відноситься до безповоротних втрат.

9.8. Багатоциклова переробка відходів. Від ідеї до практики

Сьогодні немає проблем зі створенням методів і технологій переробки існуючих відходів. Ціна питання — в їх собівартості. Науці відомі сотні, якщо не тисячі технологій переробки практично всіх видів відходів — від побутових (харчових, полімерних, скляних і т. д.) до промислових, джерелом яких є все ті ж мінеральні або сировинні ресурси. В результаті такої переробки ми маємо деякий корисний продукт і, звичайно ж, нові відходи, які також потрібно переробляти або нейтралізувати іншим способом. А корисні продукти, отримані в результаті переробки первинних відходів, через деякий час стануть післяексплуатаційними відходами, які також слід переробити. І так до нескінченності? В такій системі виділяються деякі циклічні процеси. Очевидно, що нескінченності в таких циклах бути не може, і їх кількість повинна бути чимось обмежена. Отже, законним

є питання: скільки разів такі відходи можна переробляти? І скільки разів ми можемо отримати від них якусь нову продукцію? Тобто чи є якась межа такої циклічної активності? І за яким параметром вона визначається? Спробуємо відповісти на ці питання [67].

Як правило, будь-які відомі технології переробки відходів коштують дуже дорого. Це вже аксіома. Але вибрати є з чого. Нові методи переробки відходів виникають не так часто саме тому, що це питання на даному рівні технологічних укладів досить опрацьоване, забезпечене практикою і технічною реалізацією і лімітується тільки їх собівартістю. Людині дано «не винаходити велосипеда». Досить звернутися до наявного досвіду. Вибір полягає в економічності, енергоефективності цих технологій, споживчої цінності продукту, отриманого з цих відходів.

Головною особливістю таких способів переробки відходів є їх одноцикловість. На це також звертається увага в ювілейному звіті аналітиків Римського клубу «Come on» [63] за 2018 рік. Циклічність переробки відходів стає найважливішим фактором економії ресурсів.

Очевидно, що технологія переробки відходів — це також процес, пов'язаний з отриманням нової порції відходів, тільки більш енергоємних [67]. А новий корисний продукт, отриманий з відходів, є, як правило, менш ліквідним товаром, який має власні обмежені експлуатаційні ресурси. Тому після закінчення експлуатації ці вироби знову отримують статус відходів і можуть підлягати подальшій переробці. І так до нескінченності (?). Можна сказати, що сьогодні питання технології переробки конкретних відходів слід розглядати не тільки з позицій їх енергоефективності, економічності, екологічності і т. д., але і з точки зору забезпечення багатоциклової ступеневої обробки, як ресурсу для максимально допустимого використання речовини.

Таких технологій поки дуже обмежена кількість. Але це має бути поглядом у майбутнє. Ефективність переробки первинних відходів може успішно перебиватися її подальшим засвоєнням, шляхом запуску багатоциклового процесу «відходи — товарний продукт — відходи — товарний продукт — ...», який у підсумку поступово максимально надав би свої споживчі якості на користь людини.

На чому ґрунтується погляд на конкретний відхід після переробки як на новий товарний продукт? Мабуть, крім споживчої вартості, це його енергоентропійні властивості. А після чергової переробки як після експлуатаційного відходу? Також його ентропія? Стверджуємо, що будь-яке виробництво має свою енергоентропіку, яка по-різному співвідноситься з виробництвом товарної продукції і з отриманням основних відходів. Це так звана властивість *термодинамічної двоєдності* виробничих систем, що описана в главі 6. Якщо корисний продукт цього процесу виходить у результаті формування в ньому властивостей сильної термодинамічної нерівноважності, то відходи є продуктом аналогічного

перетворення в термодинамічних слабо нерівноважних системах, що існують паралельно з сильно нерівноважними енергетичними процесами в рамках одного і того ж виробництва (рис. 6.1, гл. 6). Тому, як правило, товарні продукти конкретного виробничого процесу мають якості системності, з мінімумом ентропії, що проявляється, перш за все, в його експлуатаційних властивостях. А відходи не володіють товарними якостями через високу ентропію і відсутність системних якостей, які характерні для товарів народного споживання.

Ці якості відходів можуть відновлюватися в ході їх подальшої переробки. Для цього потрібні нові джерела енергії, нові умови для створення сильної термодинамічної нерівноважності, але в зовсім іншому виробничому процесі — при переробці цих відходів. В результаті отримуємо товар, який набуває нових споживчих якостей. Рівень цих якостей буде залежати від якості нової енергії, ефективності її використання в технології переробки потрібних відходів, умов мінімізації загальної ентропії, що виробляє система.

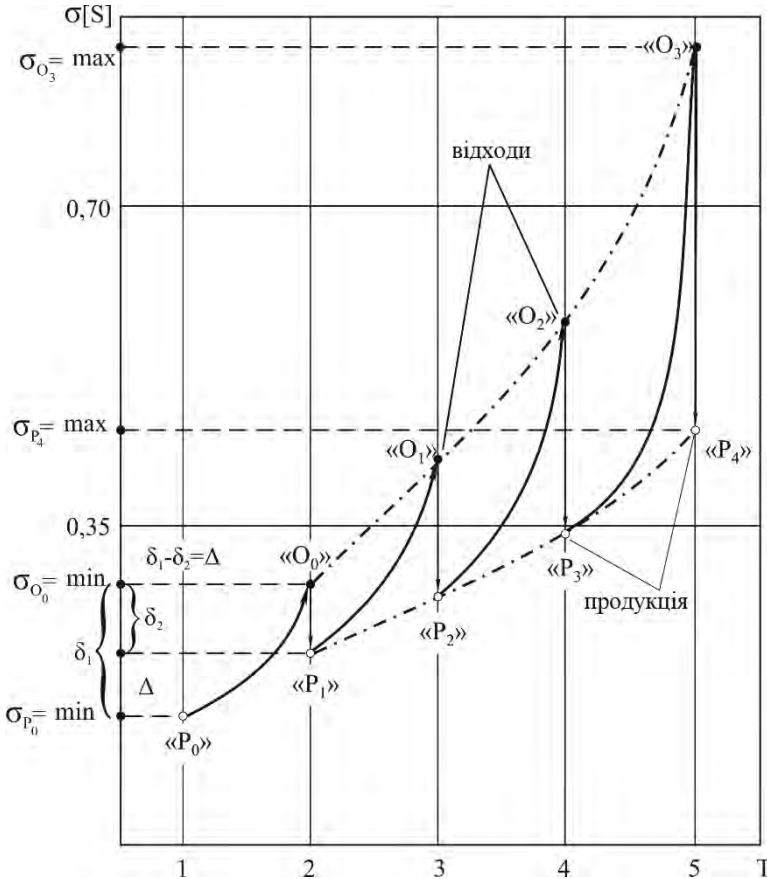


Рисунок 9.11 — Енергоентропіка багатocyклової переробки відходів

Для того щоб перетворити відходи в корисні продукти при їх вторинній переробці, необхідно витратити додаткову кількість енергії, енергії іншої якості, ніж та, яка вже була витрачена в основному технологічному процесі. При цьому ентропія системи « P_i » → « O_i » → « P_{i+1} » повинна зменшитися (рис. 9.11). Розрахункова різниця Δb на кожному етапі показує високу ентропію такої багатоциклової переробки, яка повинна збільшуватися з кожним циклом ($\Delta\sigma_{P_i} > \delta\sigma_{P_0}$), будучи платою за корисність відходів (див. рис. 9.11).

Очевидно, що кожен новий цикл переробки відходів, який вимагає нової енергії в постійно зростаючій кількості або іншої якості, забезпечує новий ресурс для споживання цих відходів. Це відбивається змінами ентропії (див. рис. 9.11). Тут $\delta_1\sigma[S] - \delta_2\sigma[S] = \Delta\sigma$ відображає величину енергетичних витрат на отримання якостей товарної продукції « P_1 » з відходів « O_0 ». Такі пари (« O_i » → « P_{i+1} ») з відповідними величинами $\Delta\sigma$ характеризують багатоциклічний характер переробки відходів.

Такі багатоциклові переробки відходів, якщо на них звернути увагу, стають джерелом найбільш ефективного та глибокого використання внутрішнього ресурсу будь-яких відходів — первинних або вторинних. Це прихований ресурс будь-якої виробничої системи.

Таким чином, багатоциклова переробка відходів стає джерелом не тільки багатократного використання вихідних відходів, але і перетворюється в спосіб економії природної сировини. Для цього потрібна лише відповідна якість енергії та відповідні технології.

9.9. Умови термодинамічної двоєдності в сучасних технологіях переробки побутових відходів

Гідною ілюстрацією властивостей термодинамічної двоєдності і методу мінімізації відходів у джерелі походження є доведені до якісного результату сучасні технології переробки побутових відходів. Переробку побутових відходів можна представити як сучасний технологічний процес.

Ще раз повторюємо, що характер і можливості утворення відходів у будь-якому технологічному процесі можна вкласти в дві рівнозначні складові: багатокомпонентну сировинну базу і локальні джерела енергії, які використовуються в даному технологічному процесі. При цьому одна частина сировини належить до енергії, що на неї діє як сильно нерівноважна термодинамічна система, і вона перетворюється в готову продукцію. А інша частина сировини по відношенню до діючої на неї тієї ж самої енергії знаходиться в стані слабкого порушення рівноваги або в стані рівноважності і, як наслідок, перетворюється у відхід. Це означає, що мінімізація відходів у технологічному процесі є функцією струк-

тури сировини і співвіднесених з нею джерел енергії таким чином, що вся ця структура по відношенню до джерел енергії знаходиться в стані сильної термодинамічної нерівноважності.

Власне, накопичення побутового сміття можна представити умовно як одну з невід'ємних складових технологій життєзабезпечення людини. У побуті людина на непряму рівні використовує величезну кількість технологій для приготування їжі, прибирання, прання, ремонтних робіт, періодичного наведення порядку в житлі і т. д., здійснення господарських торгових операцій з подальшим виділенням відходів у вигляді обгорткового матеріалу, коробок, пакетів, пляшок та ін. Результатом таких «технологій» є, як і завжди, корисна «продукція», у вигляді їжі, напоїв, чистого одягу, білизни, чистого житла, та відходи, які прийнято називати побутовими. Як правило, ці відходи багатокомпонентні, включають в себе все, з чим людина має справу в побуті: харчові відходи, товарну тару і обгорткові матеріали, скло і дерево, кольорові метали, вироби з пластмаси і багато іншого. Головне в цьому аналізі полягає в тому, що ми знову маємо справу з умовним технологічним процесом, або процесами, в результаті яких виходить готовий продукт і його неминуча складова — відходи.

Сучасні технології переробки побутового сміття включають процедуру його накопичення у «побутового виробника», локалізацію в місцях накопичення і подальшу переробку, тобто технологічне доведення до необхідного (товарного) стану. Сучасна процедура накопичення побутових відходів включає їх роздільний збір у виробника (в побуті), що є не чим іншим, як структуруванням багатокомпонентної сировини, і подальшим накопиченням кожного окремого компонента для переробки певним джерелом енергії. Далі відбувається ще більш глибоке структурування відокремленого сміття на заводських лініях ручного і механічного розділення компонентів. Потім для кожного компонента вибирається той тип енергії дії, який відноситься до конкретного компонента «сировини» як до термодинамічно сильно нерівноважної системи.

Основне правило *термодинамічної двосродності*, характерної для будь-якого технологічного процесу, полягає в наступному. Різниця між рівнями термодинамічного порушення рівноваги для різних компонентів сировини полягає в тому, що по відношенню до певного термодинамічного параметра конкретного компонента сировини в технологічному процесі створюється відповідний енергетичний параметр (енергія), який викликає запрограмовані (технологічні) зміни стану цього компонента, наділяючи його тими властивостями або якостями, які роблять його корисним продуктом. Таким чином, важливо, щоб термодинамічний параметр цієї складової (градієнти температур, різниця концентрацій, хімічні потенціали, перепади тиску і т. д.) відповідав енергії, що використовується для цього.

Розглянемо хоча б частину структури найбільш поширених компонентів побутових відходів із позицій їх співвідношення з різними видами енергії, яка використовується для їх переробки [68, 69].

1. Частина сировини, тобто відокремленого побутового сміття у вигляді битого скла і окремої скляної тари, відправляється на сортування, очищення, сепарацію за стандартизованими показниками якості, з наступним термічним перерозподілом (переплавлення) і з подальшим виготовленням нових скляних виробів, переважно склотари. Джерелом основної енергії в даному випадку є енергія термічної обробки до стану рідкого скла (не нижче 1500 °С). Натуральним шляхом скло розкладається в природі близько 500–1000 років.

2. Деревні побутові відходи мають бути утилізовані або через спалювання, починаючи з розкладання целюлози (200–260 °С), лігніну (280–500 °С), або накопичування, подрібнення і використання як наповнювачів для штучних дерев'яних конструкцій, таких як ксилобетон, арболіт, фіброліт тощо. Період розкладання в природі становить 1–3 роки, пофарбована деревина — не менше 10 років.

3. Частина побутового сміття у вигляді використаного паперу, картону, обгорткових матеріалів (все це спресована целюлоза, клітинні елементи деревних рослин) відправляється на сортування, очищення від забруднень, зволоження, механічну фрагментацію і подальше виробництво нових паперових виробів більш низької якості. Джерелом енергії тут є термічна обробка при температурі 100 °С, механічна і хімічна обробка рідкої целюлози (відбілювання, змішування), подальше пластичне ущільнення в залежності від якості початкової сировини і одержуваної вторинної продукції. Розкладання паперу в природних умовах відбувається за 1–3 роки.

4. Організовані побутові харчові та інші біологічні тверді відходи після дезінфекції використовують у тваринництві або відправляють на зволоження, пропарювання і подальше компостування, з виділенням з них поживного компосту для добрива. Сухий залишок підлягає спалюванню з подальшим допалюванням при температурі не менше 850 °С. Як варіант, використовується технологія вилучення метану зі спеціально підготовленого компосту біологічних твердих відходів. Час розкладання в природі — до 30 днів.

5. Текстильні відходи сортують за кольором і якістю (синтетичний текстиль окремо), подрібнюють і відправляють на переробку для використання у виробництві нових тканин, наприклад, постільної білизни, для одягу, іноді без втрати якості (поліестер). Пресування і подальше спалювання текстильних відходів або залишків непереробленого текстилю відбувається при температурі не менше 300 °С. Найчастіше на сміттєспалювальних заводах текстильні залишки спалюють при надмірній температурі 850–1200 °С. У природі текстиль розкладається понад 100·n років.

6. Металеві відходи переробляються після сортування на чорні та кольорові метали відповідно до їх первісної природи. Вони відправляються на термічну обробку (переплавку) при температурах плавлення кожного металу (від 330 °С — свинець до 1540 °С — залізо). Період розкладання заліза в природі — до 10 років. Але, наприклад, алюмінієві ємності в природі розкладаються більш ніж 500 років.

7. Побутова пластикна маса підлягає дробленню, спеціальній структуризації і подальшій термічній обробці (не менше 600 °С) при певних фізико-хімічних умовах завдяки піролізу, метанолізу, гідролітичній або гліколітичній обробці або шляхом простої механічної сепарації й рециклінгу. Її використовують в якості наповнювача. Пластик практично не розкладається в природі. Теоретичний період розкладання ніким не перевірений і становить не менше 600 років.

8. ПЕТ-тару подрібнюють, перетворюють у дрібну крихту і готують як специфічний наповнювач, або переробляють в нову, але менш якісну ПЕТ-тару. Період розкладання в природі становить 100–200 років.

9. Побутові шини, в тому числі автомобільні, також максимально подрібнюються на їх складові компоненти: саму гуму, металевий корд, обрізки тканини з подальшим використанням цих компонентів в якості вторинної сировини в різних галузях промисловості, наприклад, у дорожньому будівництві.

10. Залишки лікарських засобів в залежності від класу небезпеки і токсичності підлягають утилізації тільки сертифікованими підприємствами за регламентованими методиками. У побуті правильний поділ лікарських засобів за формою і змістом (токсичні, ампульні, відкриті таблетки, мазі, гелі, сиропи, розчини і емульсії) є дуже складним. А ступінь їх впливу на навколишнє середовище на порядок вищий, ніж усіх інших побутових відходів.

11. Побутові електроприлади, які втратили свої споживчі якості, піддаються глибокій деструктуризації своїх складових елементів: дорогоцінних металів, кольорових і чорних металів, пластмас, з направленням на подальшу покомпонентну термічну обробку в широкому діапазоні температур від 400 до 1500 °С.

12. Електричні батарейки, побутові акумулятори є одними з найбільш складних і дорогих видів відходів для переробки. Після роздільного збору проводиться високотемпературний електрохімічний поділ електролітичних мас на складові елементи: літій, свинець, цинк, кадмій, кобальт, марганець і т.д. до сировини, знову придатної для використання, але вже в інших сферах: у виробництві нержавіючої сталі, для виробництва мастил і т.д. Такі процеси досить енергоємні та дорогі. Період розкладання в природі — до 100–200 років.

Список можна продовжувати.

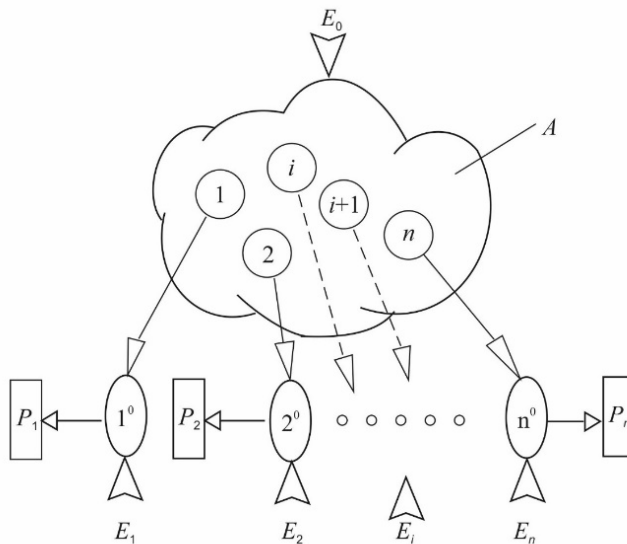
Сучасні технології також передбачають масовий процес цілеспрямованого спалювання побутових відходів, забезпечуючи попередню підготовку такої сировини з високою теплотворною здатністю для спалювання в спеціальних печах заради енергії, так звані процеси (*WtE*) і (*EfW*) для вироблення тепла, пари, електроенергії.

Таким чином, технологія переробки побутових відходів починається в момент їх утворення, тобто під час появи побутових товарів у споживача, на кухні, у сміттєвих контейнерах в кожному будинку, в контейнерах для роздільного збору, на сміттєподрібнювальних лініях сміттєпереробних підприємств. Але при цьому строго дотримується умова попереднього структурування побутового сміття за окремими його складовими.

Після цього для кожного компонента колишніх побутових відходів застосовуються вузькоспецифічні технології переробки з використанням власного унікального джерела енергії, такої, що відноситься до «сировини» в сильному термодинамічно нерівноважному стані.

Аксіоматично те, що будь-який непідготовлений енергетичний вплив на змішане побутове сміття ніколи не призведе до бажаного результату. Це призводить або до надмірних витрат енергії на згоряння всіх частин сміття, або до появи після згоряння залишку незгорілого сміття, який все одно стає відходом, що з'явився вже після процедури горіння.

Причина в тому, що кожен компонент такого сміття вимагає свого унікального джерела енергії і своєї параметрично обґрунтованої системи термодинамічної нерівноважності з боку цієї енергії до кожного компонента побутових відходів. Тому, якщо таке сміття переробляти (наприклад, спалювати при якійсь опосередкованій температурі), то завжди частина його залишиться непереробленою і перебуватиме в стані термодинамічної рівноважності по відношенню до цієї енергії або буде спалюватися з величезним надлишком витраченої на це енергії.



A — маса змішаних побутових відходів;

$I = 1, 1, n$ — кількість компонентів у складі побутових відходів;

E_i — джерело енергії за призначенням для переробки i -го компонента зі складу побутових відходів;

P_i — товарний продукт, отриманий з відповідного компонента змішаних побутових відходів

Рисунок 9.12 — Реалізація принципу термодинамічної двоєдності при переробці побутових відходів

Розділяючи побутові відходи, ми таким собі емпіричним шляхом приводимо окремі їх компоненти в стан термодинамічної нерівноважності по відношенню до обраного для їх подальшої переробки джерела енергії, за допомогою якого збираємося модифікувати ці компоненти. Наприклад, це розплавлення скляного бою, спалювання паперу або дерева, механічна деструкція пластика, автомобільних шин, паперу, локалізація джерел електричної енергії і т. д. Все це підпадає під принцип *термодинамічної двоєдності* в технологічному процесі переробки побутових відходів (рис. 9.12).

В основі таких технологій, як і раніше, залишаються умови компонентного поділу сировини з подальшим застосуванням потрібного джерела енергії необхідної якості для отримання товарного продукту. Цей універсальний підхід ефективний не тільки для загальноприйнятих технологічних процесів [29, 30], але і для переробки побутових відходів.

9.10. Порівняльний аналіз термодинаміки організму людини з позицій утворення відходів з умовами штучних технологій

Людський організм, з позицій термодинаміки, є ефективною тепловою системою [70]. Він призначений для переробки деякої біологічної сировини — їжі, за допомогою кисню повітря, води в енергію руху м'язів для подальшої підтримки діяльності організму і виконання зовнішньої корисної роботи різного призначення. Система має власні відходи у вигляді газів, водного розчину певної якості і твердих продуктів біологічного розпаду, що виводяться з організму. В основі функціонування такої системи лежать процеси метаболізму, тобто перетворення речовин в енергію шляхом їх окислення, які є основою життєдіяльності людського організму. Основною складовою метаболізму є розщеплення білків, вуглеводів, жирів шляхом їх окислення до утворення проміжних і кінцевих продуктів, а потім води і вуглекислого газу. В якості основного окислювача присутній кисень. Але окислення в організмі теж можливе за рахунок бактеріального середовища та інших джерел. Продуктами обміну, крім води і вуглекислого газу, є амінокислоти, глюкоза, цукор і т. д. Білки за допомогою протеаз розщеплюються на амінокислоти. Жири за участю ліпаз — до жирних кислот і гліцерину, вуглеводи за допомогою амілаз — до моносахариду. При цьому виділяється всього 0,8% енергії, тобто енергетичний ефект цього етапу незначний. Гідроліз білка — це лише перший етап його катаболізму. Далі амінокислоти розкладаються до сечовини і вуглекислого газу [67].

В рамках цього короткого дослідження ми не ставимо за мету ретельно і детально описати всю фізіоенергетику людини. Це великі і складні дослідження в зовсім іншій галузі знань [67, 69, 71, 72], більш точні, ніж запропоновані

тут. Проте оціночний аналіз усереднених даних фізіоенергетичних досліджень людини може дати нам порівняльні відомості про її термодинамічну ефективність. Якщо при цьому переслідувати цілком конкретне завдання: порівняти термодинамічну ефективність біологічної системи, а саме людського організму, і штучних технологій, створених тією ж людиною, то, можливо, це буде якийсь ідеальний кінцевий результат (*ICR*) для всього, що людина створює.

З точки зору кібернетики, людина, як термодинамічна машина, на вході має доступ сировини у вигляді білків, жирів і вуглеводів, води, кисню, азоту в кількості, необхідній для підтримки життєдіяльності (табл. 9.17). Енергія життєдіяльності включає, зокрема, енергію екзотермічних реакцій окислення, яка витрачається на підтримку функціонування самого організму, накопичення резервного жиру і на виконання зовнішньої роботи (розумової, фізичної, різного ступеня тяжкості).

Таблиця 9.17 — Приблизний матеріальний баланс людського організму в метафізичному вираженні*

№	Матеріальний здобуток			Матеріальний відхід		
	Найменування	Од. вим.	Кількість	Найменування	Од. вим.	Кількість
1	Білок	г/доб	100–200	Сухий залишок калу	г/доб	45–70
2	Вуглеводи	г/доб	365–575	Сухий залишок сечі	г/доб	8–15
3	Жири	г/доб	100–150			
4	Повітря	м ³ /доб	14,0	O ₂	м ³ /доб	0–1,54
				CO ₂	м ³ /доб	0,42–7,56
				H ₂	м ³ /доб	0–0,55
				N	м ³ /доб	6,5–12,8
				CH ₂	м ³ /доб	0–7,8
	ВСЬОГО (сухий)	г/доб	565–925	ВСЬОГО (сухий)	г/доб	53–85
5	Вода всіх видів	г/доб	1000–2000	Вода всіх видів	г/доб	750–1590
	ВСЬОГО	г/доб	1565–2925	ВСЬОГО	г/доб	803–1675

* — дані усереднені, не враховують матеріальні виділення через шкіру і легені.

Відходами в такій системі є продукти біологічного розпаду у вигляді сечі і калу, газів, кількість яких порівняно невелика. Ми не будемо уважно розглядати інші відходи, такі як виведення води з організму через шкіру, з потом,

або водяної пари з повітрям, що видихається. Також ми не будемо розглядати зворотні катаболічні процеси анаболізму, тобто ендотермічне перетворення води і вуглекислого газу, азоту і т. д. в органічні речовини за допомогою сонячної енергії.

Ефективність засвоєння організмом людини речової частини поглиненої сировини, в даному випадку — харчової, згідно з табл. 9.17, $\eta = 1 - (53 \div 85) / (565 \div 925) = 0,85 \div 0,94$ — досить висока, що говорить про високу енергетичну ефективність механізмів обміну речовин.

Розглянемо, як змінюється функція спорідненості α_n і функція відторгнення γ_n [68] для такої системи, як людський організм (табл. 9.18), і зіставимо ці дані з роботою, наприклад, технічних систем, що складають основу виробничої діяльності людини. Тут: P_k — компонент продукційної бази системи; R_i — компонент бази відходів системи; C_j — компонент сировинної бази системи. Такі порівняння носять дещо механістичний характер, але для теми даної роботи вони досить інформативні і дають можливості для порівняльного аналізу можливостей штучних технологій.

Слід звернути увагу на близькість таких стародавніх технологій, як виробництво сиру, вина, хліба, тобто перших по-справжньому штучних харчових технологій у порівнянні з продукуванням людського організму, принаймні по відношенню до таких показників, як *функції спорідненості* і відторгнення. І тут, і там ці показники знаходяться у вузьких і дуже близьких межах $0,78 \div 0,89$ і $0,093 \div 0,14$ відповідно. Судячи з усього, пояснення тут можуть бути найбільш очевидними. Найближчими до них можуть бути тільки значення цих функцій для технології 3D-друку ($0,94$ і $0,05$ відповідно), але тільки без урахування відходів при підготовці сировини.

Розглянемо умовну схему функціонування організму людини як теплової машини (рис. 9.13). Ми будемо враховувати тільки катаболічні (екзотермічні) процеси, в яких відбувається основний розпад, розщеплення складних органічних сполук на більш прості амінокислоти, глюкозу, цукор, вуглекислий газ, воду і т. д. і виділення енергії від екзотермічних реакцій ($E_{екз}$).

Всі ці процеси термодинамічно нестійкі і, що особливо важливо для нас, явно нерівноважні [72, 73]. Цей факт може свідчити про високу ефективність організму людини по відношенню до відходів її життєдіяльності. Стан, близький до термодинамічної рівноважності, настає тільки тоді, коли всі компоненти їжі, що надійшли в організм через процеси катаболізму і анаболізму, в результаті перетворилися в воду і вуглекислий газ, нові амінокислоти, інший будівельний матеріал. Термодинамічна саморегуляція організму (в стані сильної нерівноважності) полягає в забезпеченні регуляції споживання і розподілу вивільненої енергії для потреб всього організму (*PAV*) і для зовнішніх робіт (*PAL*). Заради цього в цілому метаболізм людини спрямований на те, щоб якомога довше підтримувати термодинамічне порушення рівноважності.

Таблиця 9.18 — Порівняння людини і деяких технічних систем як відходоутворюючих з точки зору функцій спорідненості α_n і відторгнення γ_n ($n(1,1,14)$)

n	Найменування «технології»	$\alpha_n = \sum_{k=1}^K P_k / \sum_{j=1}^J C_j$	$\gamma_n = \sum_{i=1}^I R_i / \sum_{j=1}^J C_j$
1	Метаболізм біологічної системи (людина):		
	– за твердими компонентами сировини;	0,89	0,093
	– з урахуванням рідкої та газоподібної складових	0,56	0,33–0,49
2	Технологія виробництва хліба:		
	– за твердими компонентами сировини;	0,78	0,205
	– з урахуванням рідкої та газоподібної складових	0,55	0,43–0,45
3	Технологія приготування сиру:		
	– за твердими компонентами сировини;	0,85	0,11–0,14
	– з урахуванням рідкої та газоподібної складових	0,54	0,41–0,445
4	технологія виноробства	0,83	0,15
5	3D-друк матеріальних об'єктів (без технологій підготовки сировини)	0,94	0,06
6	Технологія виробництва чавуну:		
	– за твердими компонентами сировини;	0,38	0,61
	– з урахуванням рідкої та газоподібної складових	0,27	0,72
7	Технологія механічної обробки металу (металообробні верстати)	0,54	0,46
8	Технологія вальцювання-штампування	0,69	0,31
9	Технології будівництва споруд	0,59	0,40
10	Технології дорожніх робіт	0,67	0,31
11	Нанотехнології	0,68–0,95	0,05–0,32
12	Технології водо підготування	0,715	0,294
13	Технології переробки твердих побутових відходів	0,616	0,395
14	Технології виробництва упаковки та одноразових виробів	0,645	0,320

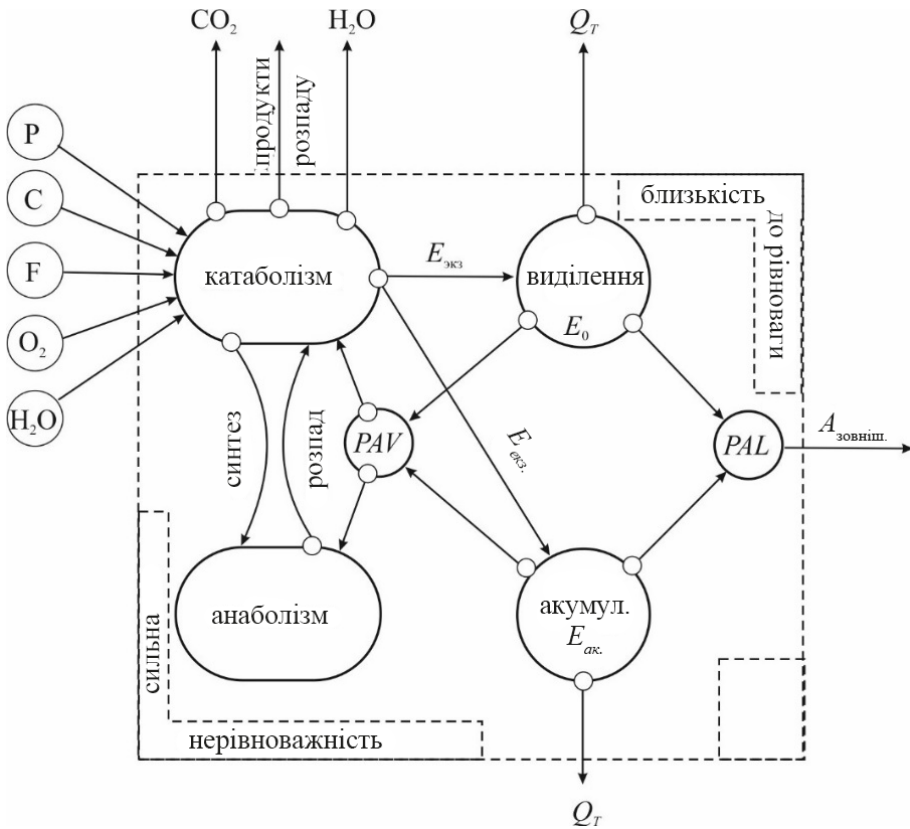


Рисунок 9.13 — Умовна модель метаболізму для організму людини (позначення в тексті)

Джерелом енергії $E_{екз}$ в організмі є білки (P — *proteines*), жири (F — *fats*) і вуглеводи (C — *carbohidrates*), кожен у своїй пропорції (табл. 9.19). Наприклад, при розщепленні в організмі 1 г білка виділяється 17,2 кДж енергії (4,1 ккал). Але не весь білок витрачається на виробництво енергії. Енергетична цінність білка для організму становить менше 30%. Частина енергії білка витрачається на виконання інших функцій, наприклад, побудова клітин тіла, тощо (PAV). А білок, що резервується для отримання енергії E_0 (див. рис. 9.13), розкладається послідовно на прості амінокислоти, а потім на аміак, сечовину, H_2O і CO_2 , які поступово виводяться з організму.

Такі ж закономірності співвідносяться і з переробкою вуглеводів і жирів [74, 75, 76]. Вуглеводи також дають енергію в кількості 17 кДж/г, але енергетична частка вуглеводів становить 55–60% від загального споживання енергії в організмі. Енергетична цінність жирів становить 38 кДж/г, але їх частка в енергетичному балансі організму становить менше 30%. Інших значущих джерел енергії в організмі немає.

Таблиця 9.19 — Енергетичний баланс людини з середніми антропометричними даними на добу за нормальних умов

№	Енергетичні надходження до організму			Енергетичні витрати організму, кДж/доб		
	Найменування	Енерго-продуктивність, кДж/г	Споживання людиною, г	Всього енергії, кДж/доб	Тип енергії, що витрачається	Розмір витрати
1	Білок (Р) (менше 30%)	17,2	≤ 200	≤ 3500	Фізична праця (PAL)	5400–8700
2	Вуглеводи (С) (55–60%)	17,0	≤ 575	≤ 9900	Базальний обмін речовин (PAV)	3400–5100
3	Жири (F) (менш 30%)	38,0	≤ 150	≤ 5700	Накоплення жирів $E_{ак}$	1600–2200
					Теплові витрати (Q_T): – випаровуванням поту, – конвекцією і випромінюванням – теплопровідністю	~3900 ~1300 ~2100 ~500
4	ВСЬОГО		≤ 925	≤ 19100	ВСЬОГО	14300–19900
					Δ^* :	(+)4700÷(-)900

* — відображає опосередковані накопичувальні властивості людського організму:

(+ Δ) — накопичення (акмулювання) енергії ($E_{ак}$) в організмі за результатом отримання зайвого жиру;

(- Δ) — втрата внутрішньої енергії жиру на зовнішні потреби організму.

Витратна частина добового енергетичного балансу організму дуже різноманітна і включає:

- витрати енергії на основний (базовий) обмін речовин і внутрішні функції організму (*PAV*);
- енергетичні витрати на перетравлення і засвоєння їжі (*PAV*);
- витрати енергії на здійснення зовнішньої фізичної діяльності (*PAL*), результатом якого є зовнішня робота $A_{зовн}$.

Зокрема, під базальним метаболізмом (*PAV*) розуміють мінімальну кількість енергії, необхідної для забезпечення нормальної життєдіяльності в умовах відносного фізичного і психічного спокою і нормальних умов навколишнього середовища. Ця енергія витрачається на процеси клітинного метаболізму, кровообігу, дихання, виділення, підтримання температури тіла, функціонування життєво важливих нервових центрів головного мозку, постійну секрецію ендокринних залоз [69, 71].

Чисельний розбіг даних по кожній зі статей енергетичного балансу дуже суттєвий і залежить від величезної кількості факторів, як зовнішніх, так і внутрішніх для самого організму [77]. Для зручності аналізу розберемося з усередненими антропометричними даними людини і нормальними умовами навколишнього середовища.

При засвоєнні більше 85% хімічної енергії обміну речовин, найбільше значення, якого може досягти енергетична ефективність людського організму, не перевищує 30%. І це тільки в разі виконання добре освоєної, звичної роботи з одночасною участю м'язової системи ніг і тулуба [77].

Дуже цікаві для нас безповоротні втрати тепла в навколишнє середовище організмом здійснюються в основному за рахунок випаровування поту з поверхні шкіри (30%), конвективного розсіювання і теплового випромінювання (55%). Завдяки тепловіддачі для нормальних умов такі тепловтрати порівняно невеликі (менше 15%). Ці види теплообміну з навколишнім середовищем залежать від стану зовнішніх параметрів середовища — температури повітря, вологості, його рухливості біля тіла людини, від захищеності тіла одягом, характеристик цього одягу, а також від параметрів самого організму: температури, відкритості і вологості шкіри, швидкості випаровування вологи з поверхні шкіри, рівня фізичної активності і т.д. У нормальних умовах втрати тепла на одиницю поверхні тіла в залежності від типу органу (голова, руки і т.д.) знаходяться в межах 1,3 кДж/(м² мин). Для людини з середніми антропометричними даними тепловтрати можуть становити до 4000 кДж/добу. Розрахунковий тепловий ККД організму людини в нормальних умовах становить 84% (табл. 9.19). Це досить високе значення, що перевищує енергетичну ефективність багатьох технічних систем, створених людиною.

В основі термодинамічної нерівноважності будь-якої системи знаходяться її макропараметри між нормальними і поточними їх значеннями. Очевидним

завданням будь-якої термодинамічної системи, в тому числі і людського організму, в повній відповідності із законами термодинаміки є приведення її до рівноважного стану, причому тільки в одному напрямку, без оборотності. З утворенням певної ентропії.

Термодинамічна нерівноважність у біологічному організмі підтримується станом матеріального балансу в багаторівневій системі, якою є будь-яка біологічна система, у вигляді рівняння

$$\frac{d(\alpha_n R_{i,n} - \gamma_n P_{k,n})}{dR} = 0 \quad (9.7)$$

для всіх n -х бінарних відображень між функціями спорідненості та відторгнення щодо специфічних компонентів сировини (їжі, кисню та внутрішніх проміжних компонентів біологічної системи)

$$\psi: \alpha_n \rightarrow \gamma_n. \quad (9.8)$$

Організм в умовах такого балансу параметрів вихідної сировини з певною періодичністю перетворює її в амінокислоти, вуглекислий газ, воду і т.д., самотійно, перешкоджаючи досягненню стану миттєвої термодинамічної рівноважності. Для цього організм має власні можливості, у вигляді накопиченої енергії, накопиченого жиру, та здатний постійно підтримувати можливості для власного функціонування. Жодна штучна система, жоден технологічний процес не володіє такими здібностями. У зв'язку з цим біологічна система будь якого ссавця унікальна, як ідеальний кінцевий результат (*ICR*) для будь-якого термодинамічного об'єкта взагалі. Стабільне наближення до стану повної термодинамічної рівноважності в організмі може означати початок його руйнування і загибель [76]. Тому для підтримки стійкої і відновлюваної термодинамічної нерівноважності у людини існують механізми періодичності дихання, харчування, виведення шлаків, роботи серцевої системи, як способів системного живлення організму сировиною та її похідними. Слід ще раз підкреслити, що біологічна система з точки зору її термодинаміки — це ще й система з незворотними процесами.

Очевидно, що термодинамічно нерівноважні системи з явною незворотністю мають якість створення безумовної ентропії. Причому величина дисипації біологічної енергії досить велика, але організм пристосувався до використання багатьох дисипативних явищ собі на благо. До них відносяться процеси терморегуляції, випаровування поту з поверхні шкіри, регуляція кровотоку як носія енергії по судинах, здатність до скорочення м'язів як спосіб регулювання теплообміну і т.д. Тому розрахунок ентропії людського організму може бути тільки оціночним. Дуже складно визначити миттєві параметри теплового стану організму (наприклад, за допомогою методу контролю миттєвого поглинання кисню) і в динаміці оцінити його тепловий баланс, як це можна зробити щодо технічної системи. Важливу роль у цьому відіграють процеси умовного накопи-

чення енергії ($E_{ак}$), акумулюючі властивості жиру, цукру в організмі, процеси утворення проміжних амінокислот і т.д.

Зокрема, якщо організм втратить здатність вивільняти енергію для власного обслуговування, то така термодинамічна система прискориться до рівноваги. Звідси можна сказати, що в основі теплової активності людського організму в рівній мірі лежать процеси, близькі до термодинамічної рівноважності, і процеси з сильною термодинамічною нерівноважністю. Тобто приходимо до висновку, що, як тепла машина, організм людини також *термодинамічно двоєдиний*, як і будь-який інший штучний технологічний процес: одні й ті ж компоненти сировини (їжа, кисень і т.д.) відносяться до отриманої енергії одночасно як сильно нерівноважна система і як система, розташована поблизу термодинамічної рівноваги. Перші з них розраховуються за рівняннями балансу для надлишкової ентропії при малих збуреннях і для сильно нерівноважних систем І. Пригожина [78]

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{\partial[\delta^2(\rho z)]}{\partial t} = \\ & = \sigma[\delta z_n] - \left\{ \frac{\delta w_j}{\delta T} + v_j \delta^2(\rho s) - \sum_n \delta(\rho_n \Delta_n) \delta \frac{\mu_n}{T} \right\} - \frac{1}{T} [\delta \rho_{i,j} \delta v_i + \frac{1}{2} \rho v_j (\delta v_j)^2]. \end{aligned} \quad (9.9)$$

А другі підлягають розрахунку за рівняннями ентропійного балансу лінійної термодинаміки Л. Онзагера [76], у вигляді

$$\sigma[S] = \frac{\partial(\rho s)}{\partial t} + \text{div } J > 0, \quad (9.10)$$

або в спрощеній формі

$$\sigma[S] = J_n F_n + J_i P_i > 0. \quad (9.11)$$

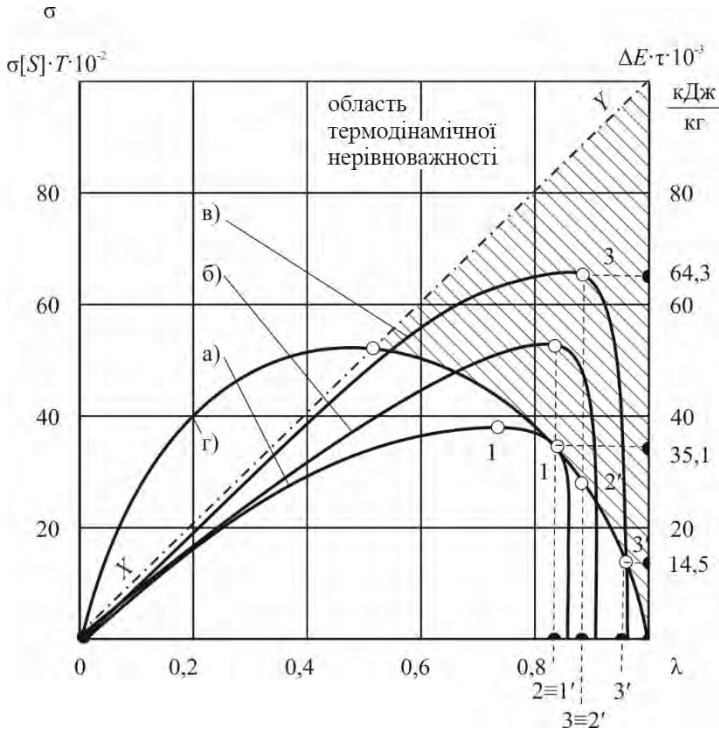
Позначення у вищевказаних рівняннях: $\sigma[S]$ — виробництво ентропії за одиницю часу і за одиницю об'єму (силова характеристика джерела ентропії);

$$J = \frac{w}{T} - \sum_n (\rho_n \Delta_n \frac{\mu_n}{T}) + \rho s v — \text{потік ентропії в слабо нерівноважній системі; } n=1, 1,$$

N — кількість компонентів сировинної бази; μ_n — значення хімічного потенціалу кожного компонента на одиницю маси; z_n — масова концентрація компонента n ; v_n — макроскопічна швидкість переносу компонента n ; ρ_n — парціальна щільність компонента n ; Δ_n — дифузійний потік компонента n ; F_n — складова зовнішнього зусилля на одиницю маси; P_i — складова тензора тиску зовнішньої сили на одиницю маси; w — швидкість хімічної реакції (якщо така є) в молях в одиницю часу; e — щільність енергії на одиницю маси.

Підходимо до відомих розрахунків якісних діаграм функцій $\sigma[S] = f(\lambda, J_{x,x})$ і $\Delta E = \varphi(\lambda, J_{x,x})$ в їх порівняльній оцінці (рис. 9.14).

Як випливає з діаграми, крива енергоємності організму ($E_{P,C,F}$), в залежності від стану спокою або тяжкості роботи, що виконується в певному масштабі при $0 < \lambda < 1$, може збігатися з лінійною медіанною еквівалентністю XU , що проходить через точку перегину кривої $\sigma[S] = f(\lambda, J_{x,x})$. Але в межах $\lambda = J_{0,x}/J_{0,0} \geq 0,85$ крива має чітко виражені власні точки перегину, де виконується умова $\Delta E_{max} \geq \sigma[S]$. Це означає існування явної термодинамічної нерівноважності поза заданим обмеженням. Наприклад, у стані спокою (див. рис. 9.14, крива а) добова кількість енергії в розмірі $35,1 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 3032$ кДж може бути витрачена на PAV, при цьому ентропія системи складе $35,1 \cdot 293 \cdot 10^{-2} = 102,84$ / (·). При важкій роботі ці показники відповідно дорівнюють $64,3 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^3 = 5555$ кДж/доб і $64,3 \cdot 293 \cdot 10^{-2} = 188,4$ кДж/(кг · К), що також вказує на умови термодинамічної нерівноважності для такої енергетичної системи.



XU —діагональ умовної еквівалентності для стану термодинамічної рівноважності; а) стан спокою; б) для робіт середнього ступеня тяжкості; в) для фізично важкої роботи; г) крива Онсагера для процесу метаболізму в біологічній системі

Рисунок 9.14 — Термодинамічна стійкість нерівноважних систем в організмі людини

Порівнюючи такі діаграми для людини, наприклад, із діаграмами для води (див. рис. 9.8), можна відзначити їх умовну аналогічність. Це можливо і правильно, адже організм людини при всьому різноманітті його теплових процесів на 80% складається з води. Функції води в організмі дуже різноманітні — від транспортних до терморегулятору і хімічного реагенту, який бере участь у будівництві клітин. Величина $\lambda \geq 0,85$ дає уявлення про те, що для виконання якоїсь зовнішньої роботи при середній потужності 250–260 Вт людина здатна витрачати до 7000 кДж енергії на добу. Але при цьому її ентропія, в порівнянні з ентропією в спокої, збільшується в 2–3 рази, що говорить про низьку ефективність використання м'язової енергії людини для виконання зовнішньої роботи.

Найпростіший висновок: мабуть, саме тому для задоволення зростаючих потреб людини в матеріальних благах в історичному контексті спочатку додатково до фізичної праці самої людини використовувалася енергія тварин, а потім з'явилися штучні технічні системи, з джерелами зовсім іншої потужності і якості енергії. Такі системи постійно розвиваються і стають більш енергетично ефективними, вони були спрямовані на зміцнення сукупної потужності людини в її трудовій діяльності. Найпростіші розрахунки показують, що при цьому ентропія системи «людина-машина» зменшується в кілька разів. Тобто ми маємо справу з більш організованою, в порівнянні з чисто людським організмом, системою забезпечення зростання негентропії, яка прагне мінімізувати дисипацію.

Дослідження термодинаміки людини можуть дати й інші результати, в залежності від поставлених цілей, зокрема, визначити фізичні можливості людини в спорті, в екстремальних умовах, в умовах прояву різних недуг і т. д. Але це вже область технічної медицини, яка виходить за рамки даної монографії.

ГЛАВА 10

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ

-
-
- 10.1. Економічні моделі виробництва продукції та утворення відходів
 - 10.2. Енергетична ефективність процесів утворення відходів
 - 10.3. Термодинаміка утворення відходів та стратегія розвитку сучасних енергетичних технологій
-
-

10.1. Економічні моделі виробництва продукції та утворення відходів

Феномен утворення відходів має сенс не тільки фізичного явища. Він також виступає повноправним учасником економічних відносин. І з цього боку явище утворення відходів має свої відмінні риси, цілком об'єктивні закономірності існування і механізми управління.

З економічної точки зору будь-яке виробництво спрямоване на отримання якогось матеріального блага, суспільного блага. Величина економічних благ визначається не тільки величиною трудових витрат, понесених при його виробництві, а й ступенем привабливості для суспільства. Останній показник має таке економічне пояснення, як споживча вартість виробленої продукції. Не вся продукція, що випускається, володіє необхідним рівнем привабливості для людей. Якби можна було порівняти список підприємств-банкрутів і перелік неліквідних товарів, які вони викидають на ринок, то можна було б отримати тісну зворотну кореляцію між банкрутством і споживчою вартістю їх продукції. Можна сказати, що не вся продукція виробництва користується попитом і реалізується на ринку. Це означає наявність некомпенсованої праці в будь-якій економічній системі. Праці, витрати якої при виробництві продукції формально не оплачуються з доходів від реалізації цієї продукції [1, 2]. З позиції економіки це абсурд.

Економістам відомі такі механізми. Розглянемо, як вони працюють у тому випадку, коли крім товарної продукції виробляються відходи, які обліковуються.

Між окремими виробничими системами (галузями, підприємствами) існують економічні взаємозв'язки, які виражаються матеріальними потоками сировини, продукції, відходів, фінансовими та трудовими потоками, потоками енергії різних видів і якостей, і всі вони переносяться з однієї системи в іншу. Будь-яка економічна система орієнтована на отримання, зокрема, засобів виробництва, споживачем яких може бути саме виробництво, і, в основному, засобів споживання, необхідних для задоволення потреб людини і суспільства.

При цьому джерелами утворення відходів є:

- будь-яке основне виробництво, що переробляє різноманітні матеріальні потоки сировинної бази в потоки готової продукції (частина готового продукту може використовуватися тут як засіб виробництва) і відходи;
- сфера експлуатації, яка споживає результати виробництва і створює вторинні відходи або відходи вторинного відторгнення.

У цьому сенсі період експлуатації також можна вважати специфічною формою виробничого процесу, спрямованого на створення цілком певних матеріальних благ. Товарна продукція, перенесена з «основного» виробництва в сферу споживання, може грати роль засобів виробництва продуктів харчування, послуг, суспільних благ, енергії для організму людини і т. д.

Будемо вважати систему, яка включає споживання, умовно розширеною системою виробництва.

Ми маємо право розглядати відходи як частину асортименту продукції даного виробництва, отриману шляхом технологічних перетворень, але таку, що не має прямої споживчої вартості, тобто як те, що не підлягає безпосередньому продажу. Деяка частина потоків утворення відходів знаходить споживача відразу або після відповідної переробки, стаючи частиною виробничої бази розширеної виробничої системи. Під терміном «продукування» *будемо розуміти* виробничий процес, спрямований на створення не тільки корисних продуктів, а й облікових відходів всіх видів.

Надалі ми будемо використовувати міркування А. Н. Голубенцева [3] в тій частині, яка стосується математичних моделей виробничих систем. При цьому, як було показано вище, під виробничою системою (розширеною), на відміну від автора, ми будемо розуміти сукупність виробничих систем (тобто включаючи відходи виробництва) і систем розподілу і споживання, вважаючи їх не тільки споживчими, але і *продукування*, в тому числі і щодо відходів.

Рівень споживання потоку продукту в j -й розширеній системі виробництва, включаючи систему споживання, в i -й виробничій системі позначимо величиною споживчої вартості $c_{i,j}$ ($i, j = 1, 1, n$). Тоді потоки масообміну між системами описуються матрицями числа споживчих вартостей:

Рішення рівняння (10.6), відмінне від нуля, в цьому випадку буде деяким вектором продуктивності p , таким, що

$$a_{j,j} p_j = (c_{j,j}^* - c_{j,j}) p_j = p_j^2. \quad (10.8)$$

У таку систему заздалегідь закладається надлишок матеріальних потоків, що утворюються в деякій її *продукуючій* частині. Цей надлишок полягає в тому, що частина вироблених відходів, яка не використовується всередині системи і переходить до інших виробничих систем, використовується або накопичується там.

Властивості додаткового *продукування* більш повно відображаються в перерозподілі витрат між частиною товарного продукту і тією його частиною, яка не знаходить споживання — у відходах. Давайте докладніше розглянемо ці властивості для розширених виробничих систем з урахуванням процесів утворення відходів.

Простим складанням у стовпцях рівнянь (10.4) отримуємо:

$$p_1 \sum_{j=1}^n (c_{j1} - 1) + p_2 \sum_{j=1}^n (c_{j2} - 1) + \dots + p_j^0 \sum_{j=1}^n (c_{jj} - 1) + \dots + p_n \sum_{j=1}^n (c_{jn} - 1) = 0. \quad (10.9)$$

При виконанні очевидних умов $c_{ji} \geq 0$ і $p_j \geq 0$ рішення рівняння може бути таким:

$$\sum_{j=1}^n c_{ji} = 1. \quad (10.10)$$

Це означає, що *продукування* i -ою розширеною виробничою системою, включаючи утворення відходів, береться за одиницю. При цьому матеріальні потоки виробництва узагальнюються, набувають значення абстрактних, безрозмірних елементів матриці $c_{j,i}^*$, кожен з яких може мати властивість відходів або корисних продуктів. Як показує А. Н. Голубенцев, ця умова є не тільки необхідною, але і достатньою.

Основна суть рівняння (10.10) полягає в тому, що для будь-якого розширеного виробничого процесу елементи матриці $|C^*|$ є безрозмірними, тобто порівнянні незалежно від економічних показників, зокрема споживчої вартості. Фізичний сенс цього явища полягає в тому, що у виробничій системі відсутні принципові економічні та технологічні відмінності в обробці всіх частин структури початкових матеріальних потоків. Схема будь-якої такої обробки задається жорсткими рамками виробничої системи, до складу якої входять:

- задане технологічне обладнання;
- енергетичні потоки заданої якості та інтенсивності;
- сировинна база в межах заданої варіації компонентів;

розширеної системи виробництва, включаючи відходи. Енергетична продуктивність (e^*) розширеної системи характеризує не тільки власні енергетичні витрати, але і витрати попередніх виробничих систем (на підготовку сировинної бази, напівфабрикатів, переробку сторонніх потоків утворення відходів тощо), а також витрати наступних систем, пов'язаних із споживанням основної продукції і відходами цієї системи.

Для нас важливо, щоб рішення у вигляді (e^*) містило ту частину енергоспоживання, яка правомірно пов'язана з переробкою відходоутворюючих елементів сировинної бази. Ці витрати фактично включаються в базу відходів і є відображенням їх собівартості. Однак у балансових відносинах виробничої системи ці витрати, як правило, зміщуються на чисту виробничу базу даної системи. Емітентом тут виступає база відходів, емітером — виробнича база.

З явищем такої емісії витрат у рамках *продуктоутворюючої* бази розширеної виробничої системи пов'язане поняття надлишку *продукування*.

В узагальненому формулюванні для розширеної системи виробництва надлишковий випуск створюється як різниця між його загальним виробництвом і власним споживанням. У витратному енергетичному вираженні його можна представити у вигляді

$$e_i^* = 1 - a_{i,j}. \quad (10.14)$$

Наведемо цей вислів до виду

$$p_i - e_i^* p_i = a_{i,j} p_i, \quad (10.15)$$

де $p = \{ \} > 0$ — позитивна виробнича матриця для будь-якої розширеної виробничої системи.

Розглянемо варіант, якщо деякі $e^* < 0$. При $p = \{ p_i \} > 0$ та $C^* \geq 0$ система не створює зовнішньої продукції, оскільки вся продукція в даному випадку повинна бути спрямована на покриття внутрішніх потреб власної системи або тієї її частини, яка змушена щось виробляти без зовнішніх матеріальних потоків. Співвідношення (10, 15) в даному випадку дорівнює:

$$p_i + e_i^* p_i = a_{i,j} p_i. \quad (10.16)$$

В ієрархічній послідовності розширеної виробничої системи ця частина займає праве кінцеве місце. На її виході повинен з'явитися певний продукт, який не має споживчої цінності, але несе витрати всього попереднього виробництва. Це явище можна охарактеризувати як розрив екологічного циклу [4].

Якщо при цьому $p = \{ p_i \} < 0$, то вираз (10.14) прийме вигляд

$$e_i^* p_i = a_{i,j} p_i + p_i. \quad (10.17)$$

Відповідна розширена виробнича система може бути тільки повністю надлишковою і в такому разі позбавлена будь-якого сенсу, оскільки у всіх своїх частинах вона буде спрямована на випуск тільки продуктів відторгнення — відходів, в яких міститься весь витратний обсяг виробництва.

Розглядаючи природу утворення відходів з позицій господарської діяльності, не можна не погодитися з твердженнями, що результати виробничої діяльності не можуть бути повністю перетворені в споживчу вартість. Фактором відплати за виробництво матеріальних благ є внутрішнє споживання ресурсів самої розширеної системи виробництва, що відображене в загальній моделі (10.6) коефіцієнтами ($c_{i,j}^*$) в (10.7), а саме: засоби виробництва і промислові відходи в тій їх частині, яка не знаходить внутрішнього застосування. А. Н. Голубенцев називає ці неминучі втрати ентропією економічної системи, співвідносячи це поняття з продуктивною силою суспільно необхідної праці. Ми не будемо тут говорити про дискусійний характер такого трактування економічних законів виробничих систем. Якщо не брати до уваги використовувані терміни, тут переконливо визначена суть фактору відплати неминучих втрат, незалежно від способу виробництва, у вигляді обов'язкового споживання внутрішнього виробництва й утворення відходів. Щодо утворення відходів у цьому контексті повторимося: можна говорити лише про ту їх частину, яка не знаходить внутрішнього споживання в розширеній системі виробництва.

Якщо припустити, що енергетична продуктивність виробничої системи включає в себе ту її частину, яка відноситься до створення товарної продукції, і ту опосередковану частину, яка відноситься до створення відходів ($e_{i,j} + e_{i,j}^0$), то неминучі втрати у вартісному вираженні можуть мати наступний вигляд

$$e_{i,j}^* = e_{i,j}^b + e_{i,j}^0 = \frac{E_{i,j}^b}{v_{i,j}^b} + \frac{E_{i,j}^0}{v_{i,j}^0}. \quad (10.18)$$

Тут індекс (b) означає запозичену енергетичну продуктивність, реалізовану в рамках виробничої системи, а індекс (0) означає енергетичну продуктивність процесу утворення відходів в тій його частині, яка підлягає аналізу (або споживається всередині системи, або не споживається там).

Таким чином, економічні якості також надають свою частину інформації про сутність такого явища, як відхід у промислових системах.

10.2. Енергетична ефективність процесів утворення відходів

Із вищезначеного ще раз впливає наступне. Ефективність використання енергії у виробничій системі повинна враховувати не тільки ту частину корисної роботи, з якою отримують корисну продукцію, але і ту її частину, яка відповідає за виробництво відходів. Енергоємність виробництва повинна відноситися не тільки до корисних продуктів, а й до відходів.

Раніше було показано, що структура використовуваної енергії є більш складною, ніж просто розщеплення її на вільну і пов'язану енергію, як це робиться в класичній термодинаміці, або в ексергію та анергію, як це має місце в енергоентропії. Структура енерговитрат, спрямованих на отримання корисних продуктів і тих, що втрачаються різними способами в процесі виробничої діяльності, більш складна.

Далі скористаємося методикою розрахунку енергетичного балансу технічних систем, яка була запропонована П. Г. Кузнецовим у 1968 році для дослідження кінцевого енергетичного балансу суспільного виробництва [5]. Методологія заснована на обліку енергетичного бюджету ієрархічно пов'язаних виробничих систем незалежно від їх типу, джерела енергії, характеру *продукування* матеріальних і духовних цінностей. Для цього автор вводить поняття коефіцієнта енергоефективності (досконалості) виробництва та інтенсивності виробництва корисних продуктів відповідно.

$$\lambda(t) = \frac{E_T}{E}, \quad (10.19)$$

$$i = N^0 \frac{\lambda(t)}{E_T} = N^0 \frac{1}{E_\Phi}, \quad (10.20)$$

де E_T і E_Φ — теоретично необхідні і фактичні витрати енергії на виробництво даного виду корисного продукту без урахування його витрат на утворення відходів;

t — часова характеристика;

N^0 — сумарна потужність, що подається у виробничу систему.

Причому

$$N^0 - \frac{E_T}{t} = N_S^T; \quad (10.21)$$

– теоретично виправдані втрати потужності на непродуктивні витрати у виробничій системі, а

$$N^0 - \frac{E_\Phi}{t} = N_S^\Phi; \quad (10.22)$$

– потужність системи, що фактично втрачається.

Доповнимо ці міркування в тій частині, яка стосується втрат енергії в ієрархічно структурованих виробничих системах.

Погодьмося вважати обсяг матеріалів (C) сировинної бази з умовно виділеною тією його частиною (C_{Π}), яка перетворюється у відходи. Оскільки ми попередньо домовилися розглядати відходи як частину номенклатури продукції даного виробництва, отриману в результаті прийнятих у виробничій системі технологічних перетворень, ексергію системи можна розрахувати як суму ефективної енергії, спожитої на чисто товарну продукцію, і частини ефективної енергії, спожитої на утворення матеріальних відходів.

$$\mathcal{E}^{\Phi} = \mathcal{E}^{\Phi P} + \mathcal{E}^{\Phi O} = \sum_{m=1}^M (I_m^{\Phi P} - T_{o.c.} S_m^{\Phi P}) + \sum_{n=1}^N (I_n^{\Phi O} - T_{o.c.} S_n^{\Phi O}). \quad (10.23)$$

$$= P + \quad = T_{o.c.} \left(\sum_{m=1}^M a_m^P R_m \ln \frac{\mu_m^P}{\mu_{o.c.,m}^P} + \sum_{n=1}^N a_n^O R_n \ln \frac{\mu_n^O}{\mu_{o.c.,n}^O} \right). \quad (10.24)$$

Тут: \mathcal{E} — інтегральна ексергія системи;

I і S — відповідно умовна «ентальпія» і «ентропія» компонентів, що беруть участь у виробничому процесі, розраховані при $t_{o.c.}$ і $p_{o.c.}$

R — стандартна газова постійна;

a — умовна масова частка компонентів сировинної бази, що беруть участь в обробці;

μ — умовна «мольна» доля компонентів сировинної бази, що беруть участь в переробці;

Індекси:

«Ф» — фізичний;

«Х» — хімічний;

«Р» — виробництво;

«О» — відходи;

$m = 1, 1, M$ — порядковий номер компонентів сировинної бази, що беруть участь у створенні корисних продуктів;

$n = 1, 1, N$ — порядковий номер компонентів сировинної бази, що беруть участь у створенні відходів.

Звичайно, в контексті предмета дослідження нас буде цікавити доля других доданків двох формул, представлених вище. Якщо продукт відходоутворення не має споживчої вартості, то інтегральний компонент ексергії ($\mathcal{E}^{\Phi O} + \mathcal{E}^{X O}$) слід віднести до втрат, а його функцію продуктивності співвідносити з матеріальними втратами виробничої системи.

Маючи на увазі під ефективністю використання енергії ту її частину, яка відображає технічну працездатність системи по відношенню тільки до корисних продуктів (ексергію $\mathcal{E}^{\Phi P} + \mathcal{E}^{X P}$), можна описати коефіцієнтом втрат виробни-

цтва решту частину енергії ($\Lambda + \Theta^{\Phi O} + \Theta^{XO}$), яка ефективно не використовується у виробничому процесі

$$s(t) = 1 - l(t), \quad (10.25)$$

а інтенсивність отримання цих втрат — у наступному вигляді:

$$i_S = N^0 \frac{1 - \lambda(t)}{E_T} = N^0 \left(\frac{1}{E_T} - \frac{1}{E_\Phi} \right). \quad (10.26)$$

Оскільки ми вважаємо будь-які відходи виробничої системи рівноправними продуцентами, останній показник формально характеризує виробництво матеріальних відходів за аналогією з виробництвом корисної продукції. Тому інтегральну інтенсивність *продукування* (швидкість спільного виробництва корисних і «некорисних» продуктів) можна визначити в залежності від особливостей виробничого процесу як функцію

$$i^0 = \max(i, i_S). \quad (10.27)$$

Якщо у технологічному процесі виконується умова $\frac{E_T}{E} < 0,5$, то $i^0 = i$.

Якщо $\frac{E_T}{E_\Phi} > 0,5$, то $i^0 = i_S$. Коли $\frac{E_T}{E} = 0,5$, маємо $i^0 = i = i_S$.

Для виробничого процесу, організованого за принципом суперпозиції, існує розділена технологічна обробка частин потоків сировини, спрямованих на отримання продуктів, і така ж, для отримання відходів. У цьому випадку

$$i^0 = i + i_S = N^0 \frac{1}{E_T}. \quad (10.28)$$

Складемо таблицю видатків енергетичного балансу Кузнецова для втрат енергії, що відбуваються в ієрархічній структурі виробничих систем (табл. 10.1).

Аналіз такої таблиці щодо виробництва корисних продуктів представлений в роботі [5].

Спробуємо виконати аналогічні дослідження для енергетичного балансу при виробництві відходів.

Таблиця 10.1 — Видаткова частина енергетичного балансу, спрямована на отримання відходів

Швидкість утворення відходів	Потужність енергоносіїв в ієрархії виробничих систем					
	N_1^0	N_2^0	...	N_p^0	...	N_p^0
$i_{s,1}$	$\left(\frac{1}{E_{T,11}} \frac{1}{E_{\Phi,11}} N_1^0 \right)$	$\left(\frac{1}{E_{T,12}} \frac{1}{E_{\Phi,12}} N_2^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,1p}} \frac{1}{E_{\Phi,1p}} N_p^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,1p}} \frac{1}{E_{\Phi,1p}} N_p^0 \right)$
$i_{s,2}$	$\left(\frac{1}{E_{T,21}} \frac{1}{E_{\Phi,21}} N_1^0 \right)$	$\left(\frac{1}{E_{T,22}} \frac{1}{E_{\Phi,22}} N_2^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,2p}} \frac{1}{E_{\Phi,2p}} N_p^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,2p}} \frac{1}{E_{\Phi,2p}} N_p^0 \right)$
...
$i_{s,q}$	$\left(\frac{1}{E_{T,q1}} \frac{1}{E_{\Phi,q1}} N_1^0 \right)$	$\left(\frac{1}{E_{T,q2}} \frac{1}{E_{\Phi,q2}} N_2^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,qp}} \frac{1}{E_{\Phi,qp}} N_p^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,qp}} \frac{1}{E_{\Phi,qp}} N_p^0 \right)$
...
$i_{s,Q}$	$\left(\frac{1}{E_{T,Q1}} \frac{1}{E_{\Phi,Q1}} N_1^0 \right)$	$\left(\frac{1}{E_{T,Q2}} \frac{1}{E_{\Phi,Q2}} N_2^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,Qp}} \frac{1}{E_{\Phi,Qp}} N_p^0 \right)$	...	$\left( \frac{1}{E_{T,Qp}} \frac{1}{E_{\Phi,Qp}} N_p^0 \right)$

Тут Q — число ієрархічно пов'язаних виробничих систем;

P — номенклатура джерел енергії різних якостей, що використовуються в даній виробничій системі.

Дійсно, якщо у виробництві корисної продукції значення $i_q \approx \text{const}$, то інтенсивність утворення відходів ($i_{S,q}$) залежить від багатьох зовнішніх факторів, зокрема від якості енергії, що подається, ступеня її узгодженості з тією частиною сировинної бази, яка після переробки стає відходами, тому про сталість показника $i_{S,q}$ тут говорити не доводиться. Умова ($i_{S,q} \neq i_{S,q+1}$) означає надлишковість утворення відходів при використанні альтернативних джерел енергії.

Таким чином, якщо під N_p^0 ($p = 1, 1, P$) розуміти джерела енергії різної якості, то під умовою ($i_{S,q} \neq i_{S,q+1}$) слід розуміти показник ступеня узгодженості методу енергетичного впливу на продуктоутворюючу і відходоутворюючу частини сировинної бази при $N_p^0 \cong N_{p+1}^0$.

Безсумнівний інтерес представляє енергоносій, для якого $E_{\Phi,qp} = \min$. В ідеальному варіанті $E_{\Phi,qp} \rightarrow E_T$, що означає виключення втрат енергії на матеріальні відходи. Іншими словами, в реальних умовах слід прагнути вибрати технологічний процес, в якому використовується енергоносій, найбільш ефективний не тільки для переробки даної сировини в готову продукцію, а й для цілеспрямованої переробки відходоутворюючої частини цієї ж сировинної бази. При цьому ці інтереси часто не збігаються. Найбільш ефективно *продукувальний* технологічний процес здатний максимально утворювати відходи. І навпаки, мінімальне утворення відходів збігається з неефективним виробництвом основного продукту. У зв'язку з цим при постановці завдань мінімізації утворення відходів у виробничих системах слід говорити про оптимізаційні задачі як мінімум двопараметричних рівнянь. Такими рівняннями можуть бути рівняння енергетичного балансу, видаткова частина яких представлена в таблиці 10.1.

Більш наочні результати можна отримати, проаналізувавши таблицю розподілу балансу ексергії ієрархічно структурованих виробничих систем (табл. 10.2).

З рівняння (10.25) випливає, що

$$\frac{\Theta}{t \sum_{p=1}^P N_p^0} + \frac{\Lambda}{t \sum_{p=1}^P N_p^0} = 1. \quad (10.29)$$

Перша складова тут — не що інше, як ексергетичний коефіцієнт ефективності (досконалості) виробництва, який має сенс ступеня реальності термодинамічного процесу, тобто

$$\lambda^{\Theta}(t) = \frac{\Theta}{t \sum_{p=1}^P N_p^0}. \quad (10.30)$$

Інтенсивність виробництва корисних продуктів, в цьому сенсі, можна описати виразом

$$i^{\Theta} = N^0 \frac{\lambda^{\Theta}(t)}{\Theta}. \quad (10.31)$$

Інтенсивність процесу утворення відходів, за аналогією з (10.26), можна записати як

$$i_S^{\Theta} = N^0 \frac{1 - \lambda^{\Theta}(t)}{\Theta} = N^0 \left(\frac{1}{\Theta} - \frac{1}{t \sum_{p=1}^P N_p^0} \right). \quad (10.32)$$

Примітка: $(\Theta_{qp} = \Theta_{qp}^{\Phi} + \Theta_{qp}^X)$.

Порівняємо вирази (10.26) і (10.32). У першому випадку відомі співвідношення між реальною і теоретично необхідною роботою можна представити у вигляді $E_T = E_{\Phi} - T \sum \Delta S_{o.c.}$. У другому виразі це можна зробити через поняття ексергії $\Theta = t \sum N^0 - \Lambda$. Частина вихідної енергії, яка не перетворюється в реальну роботу $\Lambda = T \sum \Delta S^0 + T \sum \Delta S^0$, складається зі втрати енергії у вигляді неякісного тепла в навколишнє середовище і тієї частини енергії, яка не перетворюється в роботу за жодних обставин. З огляду на те, що вся ексергія системи витрачається як на виробництво корисних продуктів, так і на утворення відходів, можна написати

$$\Theta^P + \Theta^O = t \sum N^0 - (T \sum \Delta S_{o.c.}^0 + T \sum \Delta S^0). \quad (10.33)$$

Тоді інтенсивність утворення відходів в зазначених термінах

$$i_S = N^0 \left[\frac{1}{\Theta^P + \Theta^O} - \frac{1}{\Theta^P + \Theta^O + (T \sum \Delta S_{o.c.}^0 + T \sum \Delta S^0)} \right]. \quad (10.34)$$

Як зазначалося вище, відмінність ексергії виробничої системи від її вільної енергії являє собою невикористану частину вільної енергії, яка з якихось причин не була перетворена в корисну роботу. Різниця між енергією та ентропією системи є ресурсом для зменшення її енергетичних відходів. Тому динаміка зміни стану виробничої системи, що відображена в таблиці 10.2, характеризує такий розподіл енергії в ієрархічних виробничих системах, який забезпечує максимальну реальну працездатність не тільки в напрямку отримання продукції, але і по відношенню до процесів утворення відходів. Для реальної виробничої системи це означає не ту максимальну ефективність енергії, що мається на увазі під терміном ексергія, а знижену працездатність енергії на величину необхідних витрат, які система змушена нести для супутньої переробки відходоутворюючої частини сировинної бази.

Таблиця витрат на ексергію може дати відповідь про рівень надлишковості утворення відходів як порівняльної характеристики в послідовності ієрархічних

виробничих систем. Адже у виразі (10.34) інтенсивність утворення відходів тим вища, чим істотніша різниця між всією витраченою енергією та її реальною працездатністю. Ця відмінність включає в себе незворотні втрати ентропії, враховуючи втрати до навколишнього середовища і витрати на виробництво відходів. Якщо перші два терміни для реальної виробничої системи приблизно незмінні при фіксованому джерелі енергії, то витрати енергії на утворення відходів залежать від багатьох факторів самого технологічного процесу, його організації, структури та якості задіяних у системі матеріальних потоків, тобто від усього, що дозволяє віднести цю виробничу систему до реальних термодинамічних систем.

Таблиця 10.2 — Витратна частина ексергії *продукування*, спрямована на появу відходів

Швидкість утворення відходів	Потужність енергоносіїв в ієрархії виробничих систем				
	N_1^0	...	N_p^0	...	N_P^0
$i_{S,1}^{\mathcal{E}}$	$N_1^0 \left(\frac{1}{\mathcal{E}_{11}} - \frac{1}{t_1 \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_p^0 \left(\frac{1}{\mathcal{E}_{1p}} - \frac{1}{t_1 \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_P^0 \left(\frac{1}{1^P} - \frac{1}{t_1 \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$
$i_{S,2}^{\mathcal{E}}$	$N_1^0 \left(\frac{1}{2^1} - \frac{1}{t_2 \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_p^0 \left(\frac{1}{\mathcal{E}_{2p}} - \frac{1}{t_2 \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_P^0 \left(\frac{1}{2^P} - \frac{1}{t_2 \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$
...
$i_{S,q}^{\mathcal{E}}$	$N_1^0 \left(\frac{1}{q^1} - \frac{1}{t_q \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_p^0 \left(\frac{1}{\mathcal{E}_{qp}} - \frac{1}{t_q \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_P^0 \left(\frac{1}{\mathcal{E}_{qP}} - \frac{1}{t_q \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$
...
$i_{S,Q}^{\mathcal{E}}$	$N_1^0 \left(\frac{1}{Q^1} - \frac{1}{t_Q \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_p^0 \left(\frac{1}{\mathcal{E}_{Qp}} - \frac{1}{t_Q \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$	...	$N_P^0 \left(\frac{1}{\mathcal{E}_{QP}} - \frac{1}{t_Q \sum_{p=1}^P N_p^0} \right)$

Нас також можуть зацікавити мінімаксні співвідношення функції $\left[\min \max (i_{S,q}) \right]$, такі, що

$$i_{S,q-1} \ll i_{S,q} \gg i_{S,q+1} \tag{10.35}$$

або

$$i_{S,q-1} \gg i_{S,q} \ll i_{S,q+1} \quad (10.36)$$

У першому випадку для q -ої виробничої системи, що знаходиться в ієрархічному підпорядкуванні з іншими системами, умова (10.35) означає переважання цієї частини систем відходами, які не знаходять реалізації і підлягають постійному накопиченню і зберіганню. Це можливо за умови $\Xi_{qp}^{\text{FO}} + \Xi_{qp}^{\text{XO}} \rightarrow \Xi$, тобто коли систему не можна віднести до продуктоутворюючої.

Умова (10.36) для q -ої виробничої системи, навпаки, характеризує повноту переробки і засвоєння відходів у цій частині структури ієрархічних виробничих систем. Така можливість з'являється в ідеальній маловідходній (принаймні, для матеріальних відходів) технології, коли $\Xi_{qp}^{\text{FO}} + \Xi_{qp}^{\text{XO}} \rightarrow 0$.

10.3. Термодинаміка утворення відходів та стратегія розвитку сучасних енергетичних технологій

Якщо відволіктися від теоретичних досліджень на користь прикладної енергетики, то стає зрозуміло, що енергетичні та економічні аспекти проблем відтворення відходів у сучасному суспільстві мають свої пояснення з позицій енергоентропіки всіх виробничих систем, які створені або створюються людиною [6, 7] упродовж усієї її історії.

Сучасне суспільство побудовано таким чином, що вироблений сукупний продукт утворює не просто систему споживання, а й нерівномірний розподіл вироблених товарів між споживачами, в тому числі і стосовно енергетичних благ. Нерозумно вважати, що нинішня світова система розподілу сукупної товарної продукції, в тому числі джерел енергії, є оптимальною і не підлягає змінам. Швидко змінити цю систему не вдасться, навіть якщо таке завдання довелось б вирішувати. Соціально-економічна система вкрай інертна, консервативна, і будь-які зміни можуть спричинити соціальні конфлікти. Зміни можуть бути прийнятними тільки в тому випадку, якщо система переходить з одного стаціонарного стану в інший, однак такий же стаціонарний, стан.

Особливість такого стану речей полягає в тому, що сучасне суспільство дуже тісно пов'язане з ресурсним потенціалом і, зокрема, з тим, який забезпечує енергетичний стан економіки.

Певною мірою цей потенціал і його витрати стають домінуючим показником не тільки для розвитку світової економіки, а й показником реорганізації системи раціонального розподілу сукупного валового продукту. Така економічна парадигма, на перший погляд, може здатися малоінформативною. Однак вона існує.

Можна показати, що ефективність використання енергетичних ресурсів у цілому відображає не тільки ефективність економіки.

Світ не знає таких економічних укладів, при яких зростання валового продукту не супроводжувалося б збільшенням витрат на енергоносії. З часів Римської імперії і до наших днів енергетична вартість життя на одну людину зросла майже в десять разів (з 0,2 т. н. е./люд. 2000 років тому до 1,9 т. н. е./люд. у наш час) [8]. При тому, що збільшення енергоспоживання на тонну нафтового еквівалента склало від \$2500 до \$5500.

Енергетична залежність — критерій, за яким може відбутися навіть переформатування сучасного суспільства. Будь-якими засобами, еволюційними, революційними. Зростання такої залежності є однією з головних причин можливої зміни соціальних конфігурацій. Якими б не були аргументи «*Pro-Contra*» для Євросоюзу, одним з них, до речі, є той, який особливо не афішується, але є одним із найважливіших. Мається на увазі енергетична залежність Європи, частки енергоресурсів у її валовому сукупному продукті по відношенню до власних ресурсів. Європа, яка спочатку мала досить суперечливу позицію щодо власних енергоресурсів, але мала стійкий соціально-політичний потенціал, високопродуктивний людський ресурс, постійно розвивалися наукові знання, нові технології, в тому числі і для енергетики, в кінцевому підсумку отримала розвинену економіку, зі століття в століття засновану на нових технологіях, енергетична витратність якої, однак, постійно штучно обмежувалася.

Створення ЄС було, серед іншого, відповіддю найбільш розвиненої частини світової спільноти на власні енергетичні виклики, які могли або звеличити Старий Світ, або поставити його на службу більш гнучкій економіці США, або в залежність від відсталої економіки Росії. І якщо в перші роки існування ЄС його країни позбулися індивідуального енергетичного голоду шляхом перерозподілу всього виробленого продукту і почали інтенсивно використовувати вуглеводні Північного моря, налагодивши колективні відносини з країнами ОПЕК, натомість допустивши їх до фінансових ресурсів європейських банків, гарантувавши колективну безпеку деяким з них (Саудівська Аравія, Кувейт, ОАЕ), надавши доступ до сучасних *HI-технологій*, але в той же час отримавши доступ до дешевих енергоносіїв. Для цивілізованої Європи це був шанс, яким вона скористалася.

В останні роки в результаті зміни співвідношень у торгівлі російськими вуглеводнями через Україну, нестабільності в цій країні і подальших військових дій Європейський Союз знову отримав порцію дестабілізуючого антидопінгу і знову шукає шляхи перебудови суспільства. Зокрема, відомий проект *BREXIT* став однією з перших ознак такого реформування. Їй передували проблеми з Грецією, Іспанією, загальне енергоспоживання яких перевищує середнє для ЄС у три з половиною рази. І це ще не кінець таким перебудовам. Можна і помилятися, але знову отримуємо причинно-наслідковий зв'язок між станом енергоринку та вимушеним прагненням до структурного переформатування суспільства.

У літературі наведені дані про граничні витрати споживання енергії в загальному світовому валовому продукті в розмірі 10%, вище якого починається поріг нестабільності в економіці будь-якої країни [8, 9, 10]. Якщо це правильно, то країни колишнього СНД давно і «комфортно» влаштувалися в зоні економічної кризи. Більш того, кілька країн ЄС також знаходяться в зоні кризи (табл. 10.3, розрахунки Δ проводилися за методикою [8]).

Таблиця 10.3 — Діапазони часток витрат на первинні енергоносії у валовому продукті деяких країн, Δ (частка одиниці, в 2010 році) в порівнянні зі споживанням нафти Ω млн. барелів/добу (дані 2009 року [26])

№	Країна	Δ	Ω
1	Росія	0,12	2,85
2	Україна	0,145	0,348
3	Казахстан	0,165	0,241
4	Узбекистан	0,145	0,145
5	Білорусь	0,115	0,173
6	Туркменія	0,161	0,120
7	Естонія	0,0995	0,030
8	Литва	0,114	0,074
9	Греція	0,144	0,414
10	Велика Британія	0,084	1,669
11	Німеччина	0,095	2,437
12	Болгарія	0,120	0,125
13	Румунія	0,135	0,214
14	США	0,075	18,69

А починалося все з виразу: «*Ignis mutat res*» — вогонь рухає речі. Ця латинська приказка дала початок цивілізованому багатомільйонному засвоєнню людством, у тому числі, в якості палива низькомолекулярних вуглеводнів і продуктів. Від деревини і вугілля, до нафти і природних газів. Відомо, що всі сучасні природні вуглеводневі джерела енергії мають біологічне походження, джерело якого, в свою чергу, — Сонце, його випромінювання, що досягає поверхні Землі. З річних $1 \cdot 10^{21}$ ккал енергії Сонця, що досягає земної поверхні, лише соті частки відсотка використовуються для створення різноманіття природної біологічної маси, частина з яких протягом 50–200 мільйонів років поступово перетворювалася у вуглеводневі поклади торфу, вугілля, нафти і газу метану. В результаті сучасні процеси спалювання вуглеводневого палива можна розглядати як засоби виділення сонячної енергії, яка була сконцентрована в біологічній масі і, завдяки

цим процесам, частково втрачалась з поверхні планети у вигляді тепла. Але, в той же час, це ще й один з перших природних технологічних процесів, який був пов'язаний з утворенням відходів у вигляді втрат енергії.

Природа створила величезну кількість джерел енергії, які використовує людина — органіка, природні вуглеводні, водень, атомна енергія, сонячна радіація, тепло надр і атмосфери і т. д., в залежності від того, якими технологіями переробки володіє людина. Історично склалося так, що суспільство швидше реагувало на вуглеводневі матеріали як на реальне джерело енергії, і протягом багатьох років і століть розробляло і вдосконалювало машини для переробки вуглеводневмісного викопного палива в корисну енергію. На це були свої причини. Спочатку емпіричні, а потім теоретичні. Головним було тільки те, що згорання палива, за рахунок збільшення обсягу нагрітого тіла, виконувало роботу.

У XIX столітті теплова машина підкорила світ тим, що вона виробляла дію з дуже низькоякісної теплової енергії. Наступні роботи і дослідження в області збереження енергії Майєра (1842), Гельмгольца (1847), початкові дослідження другого закону термодинаміки, виконані Лазарем і Саді Карно (1824), Клаузіусом (1850), Томсоном (1852), зробили теплову машину мало не єдиним і незамінним джерелом корисної енергії, створивши, таким чином, своєрідний тупиковий бар'єр в науці XIX століття на майбутнє, який благополучно перекочував і в XX століття. Навіть енергію сонячного випромінювання, сконцентровану за допомогою дзеркал, традиційно намагаються використовувати спочатку для нагріву води, перетворення її в пар і далі, по всім відомому ланцюгу... Навіть незважаючи на те, що вже в XX столітті стало зрозуміло, що цей вид енергії пов'язаний з величезними енергетичними втратами, як своєрідними відходами в енергетиці

На думку У. Томсона, в тепловій машині тепло перетворюється в рух тільки ціною певних втрат і марної дисипації. Якісної порівняльної оцінки втрат і роботи для теплових машин не було. Але інших подібних машин в той час не було. Порівнювати їх не було з чим [13, 14]. Незважаючи на те що вже в XX столітті стало ясно, що даний вид енергії пов'язаний з величезним навантаженням на навколишнє середовище, це не стало гальмом для суспільства. З'явилися й інші джерела, які виробляють роботу — електрика, гідравліка і пневматика, термоелектрика, п'єзо-, фото- і вібраційні ефекти і т. д. У XX столітті І. Пригожин, реалізувавши знамените рівняння $dS = dS_e + dS_i$, сміливо розділив необоротне розсіювання енергії, ентропію, на наростаючу її оборотну частину dS_e і на рівноправну вироблену, але необоротну частину dS_i , тим самим покладаючи на останню відповідальність за економічну частину енергоефективності. Але ніяких розумних практичних висновків про крайню неефективність використання теплових машин для виробництва енергії, руху, роботи, з цього приводу зроблено не було [15]. Величезний період часу ми вперто тримаємося саме за малоефективні теплові машини, приводячи до них практично всі інші джерела енергії — АЕС, ТЕС, двигуни внутрішнього згорання і т. д.

Сьогодні витрата енергії на видобування і переробку одиниці нафти по відношенню до її енергетичної продуктивності, як палива, становить 1:5, тобто 20% нафти у вигляді енергії на її виробництво витрачається. Через 20 років цей показник очікується 1:1. А якщо необхідно буде видобувати поки «недоступну» нафту, витрати зростуть на порядок. Сенс видобутку нафти буде втрачено, якщо не буде інших джерел енергії. Треба бути впевненими, що ми станемо свідками того, що подальше виробництво вуглеводневмісних продуктів, енергоємно витратне, буде здійснюватися тільки заради вуглеводнів, як сировини для виробництва унікальних матеріалів, але ніяк не заради самої енергії.

Спалювання вуглеводнів як економічно, так і термодинамічно невиправдане практично у всіх їх проявах. Тому що в будь-якому випадку концентрована енергія сировини перетворюється в енергію за допомогою найбільш неефективних методів: спалювання, нагрівання пару або іншого теплоносія. Ентропія процесу в цьому випадку, як правило, дуже висока. Велика частина енергії розсіюється, забруднює навколишнє середовище і втрачається як матеріальна речовина для подальшого використання.

Будь-яка система отримання корисної енергії в певний період своєї роботи приходить у стан сильного порушення рівноважності, оскільки тільки такий режим дозволяє системі позбутися зростання ентропії (мінімізувати її) і бути направленою на протилежні їй дії, а саме — на ремонтні процеси отримання власне корисного продукту [13, 15].

При загальній невизначеності і величезній кількості теплових та інших процесів, що дозволяють отримувати сучасну корисну енергію, спробуємо сформувати для них область феноменологічних кривих Л. Онсагера за раніше запропонованим методом (рис. 10.1) від стану $X_1 = X_2 = X_3 = 0$ (мінімальна дисипація, крива 1) до $X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq 0$ (максимальна ентропія процесу, крива 2). І потребуємо особистих співвідношень ремонтних і дисипативних процесів для різних способів отримання корисної енергії, серед яких: за допомогою чисто механічних сил (закони Ньютона, Архімеда, крива 3), процесів термомеханічного перетворення (на основі закону Фур'є, крива 4), фотоелектричного синтезу (закон Столетова, крива 5) і керованого термоядерного синтезу (крива 6).

Беручи до уваги, що феноменологічні криві Л. Онсагера призначені для опису слабо нерівноважних лінійних систем (розташованих поблизу області рівноважності) у так званих «відносинах взаємності», а отримання корисної енергії, за даними І. Пригожина, слід відносити до сильно нерівноважних процесів [15], на наш погляд, уваги повинні заслуговувати тільки області асимптотичних збіжностей I, II і III (див. рис. 10.1), далеких від атракцій. Тобто там, де процеси виробництва енергії можна вважати відносно стійкими. Відомо, що стійкість термодинамічної системи отримання енергії відображається перетином енергетичних кривих $P(\lambda) \cdot (3 \div 6)$ з однією з феноменологічних кривих $\{\delta[S](\lambda)\}$ Л. Онсагера. Показані екстремуми (максимуми термодинамічних потенціалів)

задаються атракторними станами, до яких спонтанно прагне енерговиробляюча термодинамічна система. Звісно, якщо при цьому задовольняються граничні умови в області слабкої нерівноважності.

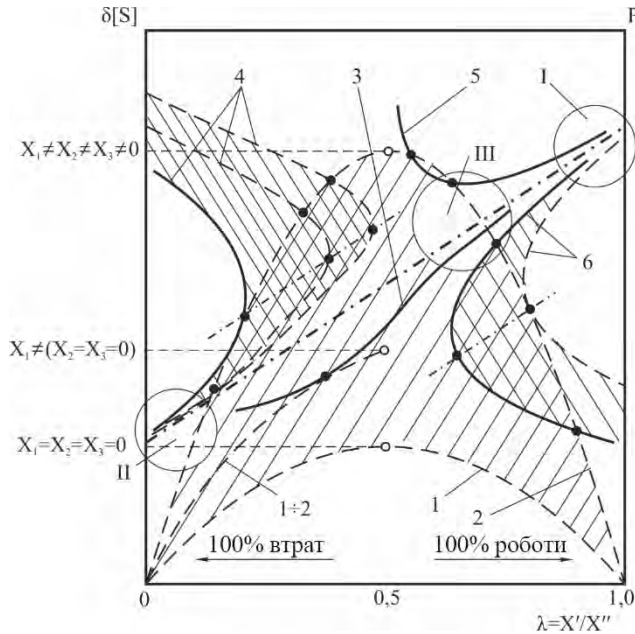


Рисунок 10.1 — Відображення стійкості і нерівноважності в різних системах отримання корисної енергії (позначення по тексту)

Розрахункові дані показують, що термодинамічна ефективність всіх сукупних теплових процесів отримання енергії, в першу чергу, пов'язаних зі згорянням вуглеводнів, в інтегральному показнику не може перевищувати позначку $\lambda=0,5$ навіть у нестійкому режимі. Сталий режим робить цю позначку ще менше (див. рис. 10.1, крива 4, ліворуч). І навпаки, термодинамічна ефективність термоядерного синтезу, фотоелектричного синтезу відбувається практично при $\lambda>0,5$ і в окремих випадках навіть при $\lambda>0,9$ (див. рис. 10.1, криві 5 і 6, праворуч). Ці процеси здійснюються з мінімальною дисипацією споживаної енергії або з мінімальним збільшенням оборотної ентропії dS_e для таких систем. Такий підхід дає можливість оцінити можливі варіанти економічно ефективного виробництва енергії з позиції її втрат, або відходів.

З однією з перерахованих вище проблем, а саме енергетичними відходами, пов'язаний стан навколишнього середовища суб'єкта енерговикористання, конкретно людини, в тому числі опосередковано через вплив на кліматичні умови на планеті, виснаження природних ресурсів, зокрема вуглеводнів, які за інших умов могли б стати величезним джерелом матеріальних благ тощо. Сучасна енергетика міцно займає першу позицію за рівнем забруднення навколишнього

середовища відхідними газами. А якщо додати до цього сучасний транспорт, який також багато в чому заснований на спалюванні вуглеводневого палива і пов'язаних з ним теплових процесах, то можна говорити про пряму і вкрай високу кореляцію між кількістю енергії, що виділяється з вуглеводневмісних матеріалів, і забрудненням навколишнього середовища. Динаміка зростання CO_2 , найбільш типового забруднювача повітря, пов'язаного зі спалюванням вуглеводневого палива, досить красномовна, а прогнози до 2030 року вкрай невтішні (рис. 10.2).

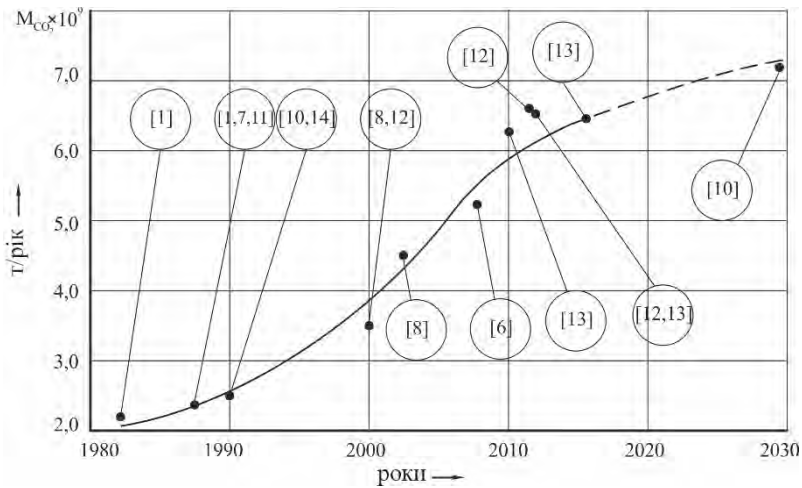


Рисунок 10.2 — Динаміка зростання викидів CO_2 в атмосферу за останні 35 років (за даними міжнародних джерел, див. список використаної літератури на графіку)

Тільки цей фактор повинен спонукати суспільство відмовитися від використання таких джерел енергії та посилено шукати альтернативи. Не кажучи вже про те, що, використовуючи нафту і газ, ми неефективно і по-варварськи спалюємо потенційно дорогі матеріали, зокрема пластмаси, синтетику, лаки, фарбу і т. д., які неможливо отримати іншими способами (за висловом Уїнстона Черчіля — «гріємо грошовими знаками»).

Таким чином, формується висока сукупна, в тому числі економічна, ціна на сучасні вуглеводневі способи виробництва споживаної енергії, що вже сьогодні робить цю галузь господарювання фактором **тупикового розвитку** для людства.

Сучасне суспільство вже не може обійтися без ефективних джерел штучної енергії. Ми давно перейшли межу, коли могли задовольнити свої потреби тільки за рахунок чисто біологічної сили: власної або домашніх тварин. Щорічно світова спільнота споживає до $5 \cdot 10^{20}$ енергії [25]. З них 94% — це енергія, що видобувається будь-яким способом з вуглеводневих джерел, які видобуваються шляхом розвитку підземних сховищ і споживаються на відносно невисокоєфективних електростанціях. Причому динаміка споживання щорічно зростає

на 5–7% (рис. 10.3). Типове джерело енергії ХХ і початку ХХІ століть — вуглеводні, сприяло розвитку одного з найбільш безальтернативних методів переробки сировини — теплової. Більшість сучасних технологій засновані на примітивному нагріванні матеріалів. Конкурувати з нею може тільки сучасна електрична енергія, та й то, далеко не завжди. Види енергоспоживання (рис. 10.4) так чи інакше пов'язані зі споживанням вуглеводнів.

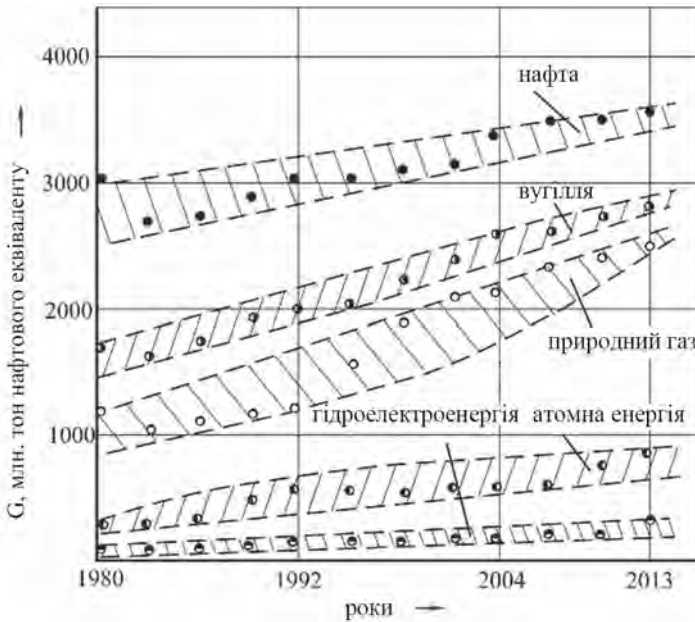


Рисунок 10.3 — Динаміка світового споживання природних енергоресурсів (за джерелами) [11, 12, 26, 27, 28])

Величезна кількість машин і механізмів, технологічних процесів, обладнання та матеріалів створюється на основі використання вуглеводнів. Переважна більшість з них засновані на теплових процесах. Двигуни внутрішнього згоряння, дизельні та газові двигуни автомобілів, турбіни різних типів, реактивні двигуни літаків, технології виробництва чавуну та сталі, прокату та аміаку, пластмас та численних синтетичних речовин, гумотехнічних виробів вимагають величезної кількості вуглеводневмісних матеріалів. З кожних 100 патентів, які з'являються в світі, 13 належать пристроям і методам спалювання або переробки вуглеводневмісних палив і речовин.

Перші двигуни внутрішнього згоряння, що зараз переможно гуляють по планеті, з'явилися близько 100 років тому. Паливом був газ, а пізніше це було рідке паливо. Електромобілі, що з'явилися, були покликані зменшити кількість викидів у навколишнє середовище, особливо в містах. Енергетична ефективність електродвигунів досить висока, 90–95% перетворення поданої електро-

енергії в корисну роботу. Однак у системі «електромобіль — енергія» поряд з екологічно майже чистим автомобілем існує ще одна підсистема — теплова електростанція, яка виробляє цю електроенергію. Отримуємо множення ККД теплових електростанцій і ККД самого електродвигуна. А це числа порядку $(0,40 \div 0,55) \cdot (0,9 \div 0,95) = 0,36 \div 0,52$. Та й за обсягами викидів у навколишнє середовище теплові електростанції, як підсистеми даної системи, займають лідируючі позиції в світі. У кращому випадку це далеко від ідеалу.

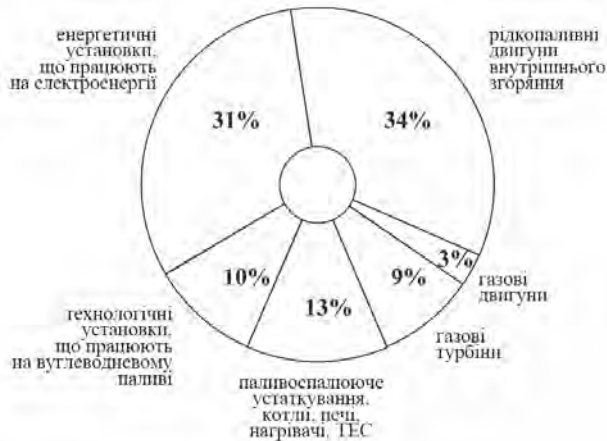


Рисунок 10.4 — Технічні системи, призначені для використання вуглеводневого палива

Іншими словами, в такій системі інтегральне забруднення природи просто перерозподіляється між двома такими підсистемами, що є однією з ознак типового розвитку систем.

З деякими уточненнями можна стверджувати, що при сучасному рівні розвитку науки і суспільства глобальне виробництво енергії з вуглеводневого палива шляхом активації теплової енергії або енергії нагрітої пари є стратегічною та перспективною науково-технічною помилкою. Те, що було визнано прогресом у минулому столітті, необхідно розглядати в цьому столітті як глухий кут, з якого потрібен вихід. Інженерний, технологічний, економічний. Оскільки науковий вихід з такого глухого кута давно існує, у вигляді розвитку інших джерел енергії, крім вуглеводнів.

Сучасна наука створила безліч так званих неуглеводневих джерел енергії. Їх провозвісником була атомна енергетика, початок якої було покладено в 1954 році з будівництва Обнінської атомної електростанції в СРСР. З тих пір атомна енергетика набула промислового значення. У 31 країні світу налічується понад 190 діючих атомних електростанцій, загальною потужністю 391 МВт. Великі надії фізики покладали на керований термоядерний синтез, прообразом якого стали перші токамаки.

З 2011 року ведуться розробки в області так званого низькоенергетичного ядерного синтезу (ефект *E-cat* або генератори Россі). *Технологія LENR* заснована на ефекті резонансного злиття нанопорошкового нікелю з атомами водню і подальшого утворення атомарної міді і заліза. В результаті екзотермічної ядерної реакції в присутності деякого каталізатора виділяється близько 10 мегаелектрон-вольт енергії, що в 10^7 разів більше, ніж при спалюванні водню в термоядерному реакторі 1,5 ЕВ (1,5 EV). Розрахунки та експериментальні демонстрації (наприклад, на конференції в Лугано, 2014 рік) показують, що маса палива 1 г дозволила за 32 дня виробляти 1600 Вт·год теплової енергії при безперервно генерованій потужності в 3 кВт. Джерело — нікель. Заявлена вартість 1 кВт енергії становить 1 цент [26, 29].

Існує цілий науковий напрямок, який називається воднева енергетика. Він заснований на використанні одного з найпоширеніших елементів на Землі — водню як засобу для виробництва, зберігання і споживання енергії. Водень має одну з найвищих теплотворних здібностей, а продуктом його згоряння є вода. Він безпечний для навколишнього середовища, не токсичний для людини, надзвичайно енергоємний, хоча за певних обставин — вибухонебезпечний. Все це робить водень перспективним заміником вуглеводневих джерел енергії. Більш того, існуючі наукові дослідження пропонують людству величезний ресурс підземного водню [30, 31, 32]. Природа зробила все можливе для людини, природним чином відокремивши надзвичайно високоенергетичний водень від складу підземних вод і упакувавши його в так звані металогідридні конгломерати. При цьому людині залишається тільки витягти цей вільний водень з рифтових зон на поверхні планети і включити його у власні продукти енергетичного ресурсу. Більш того, такого палива, яке не забруднює навколишнє середовище, людству вистачить на сотні мільйонів років.

Немає необхідності повторюватися про альтернативні джерела енергії, які використовуються все частіше. Людству є з чого вибирати, щоб зробити раціональну репаративну альтернативу вуглеводневому паливу. Ця проблема напряму стикається з проблемами мінімізації відходів у сучасних технологіях, які залежні від енергетичних джерел, що в них використовуються. Ціна питання — перспективи майбутніх поколінь. Або вони будуть, або їх не буде.

ГЛАВА 11

ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ З ПОЗИЦІЙ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

-
-
- 11.1. Закономірності розвитку технічних систем як джерело різноманітності технологічних процесів
 - 11.2. Правило повноти окремих частин системи
 - 11.3. Умова енергетичної провідності системи
 - 11.4. Підвищення ступеня ідеальності системи
 - 11.5. Стан переходу в надсистему
 - 11.6. Узгодження-неузгодження технічних систем як напрямок зменшення утворення відходів
 - 11.7. Зменшення утворення відходів за рахунок динамізації елементів системи
 - 11.8. Використання законів переходу технічних систем з макrorівня на мікрорівень
 - 11.9. Використання нерівномірності розвитку окремих частин технічної системи для мінімізації утворення відходів
 - 11.10. Модель «інструмент–продукт» у процесах утворення відходів
-
-

11.1. Закономірності розвитку технічних систем як джерело різноманітності технологічних процесів

Вихідними передумовами будь-якого технологічного процесу є сировина, енергетичні ресурси і інформаційна база про їх стан [1]. В результаті здійснення такого процесу створюються корисні продукти, що випускаються, а також відходи, які не є метою даного виробництва і не мають споживчої цінності (рис. 11.1).



Рисунок 11.1 — Поток ресурсів у технологічному процесі

Будь-який технологічний процес реалізується за допомогою певної технічної системи. Логічно припустити, що структура і властивості такої системи визначають особливості технологічного процесу, його переваги і недоліки, в тому числі можливість створення відходів.

У зв'язку з цим доцільно представити наступні етапи реалізації технологічного процесу (рис. 11.2):

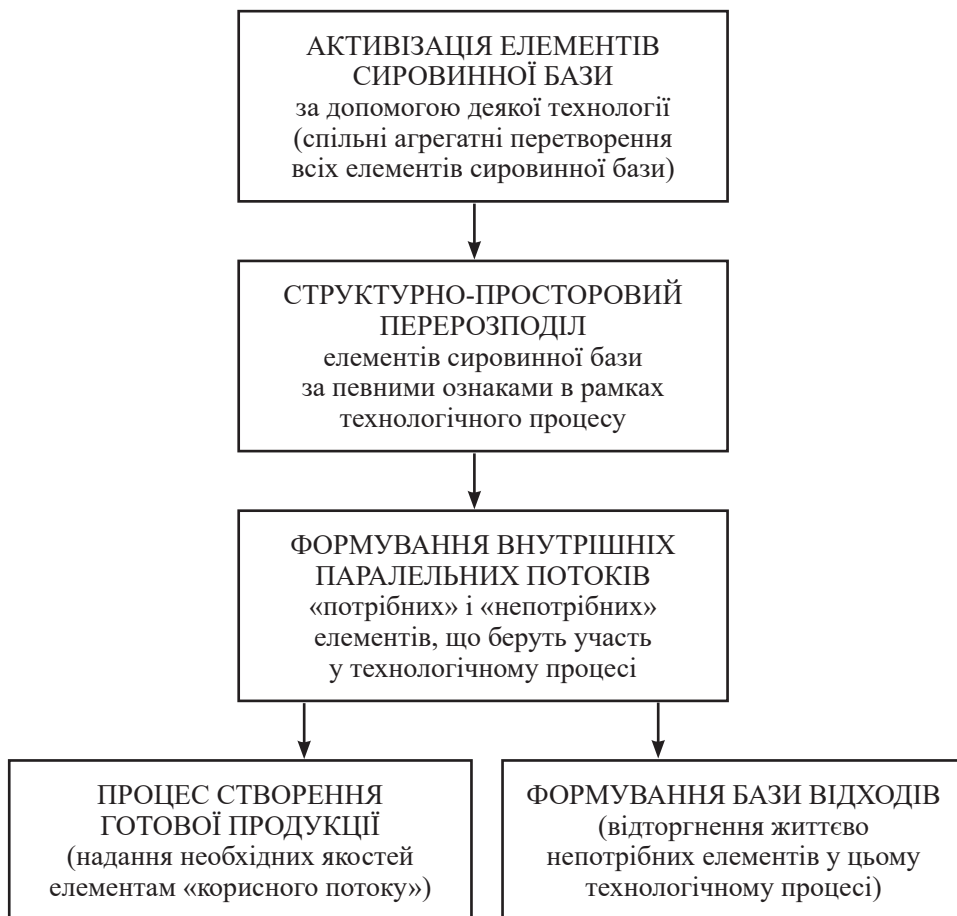


Рисунок 11.2 — Схема етапів реалізації узагальненого технологічного процесу

Якщо приймати під поняттям технологічного процесу сукупність якихось фізичних, хімічних та інших законів, закономірностей, ефектів, завдяки яким у певних технічних системах відбуваються процеси переробки сировини до стану готової продукції або відходів, то логічно відштовхуватися від таких закономірностей і класифікацій подібних явищ як з точки зору отримання товарної продукції, так і з точки зору отримання відходів.

У роботах відомого фізика Ю. Горіна [2, 3], а пізніше в роботах Г. С. Альтшуллера, Б. Л. Злотіна [4, 5, 6] з'явилися спеціальні покажчики фізичних, а пізніше хімічних, біологічних, геометричних ефектів, явищ, які використовуються або можуть бути використані в різноманітних технічних системах, у технологічних процесах. Для реалізації кожного з цих ефектів потрібні певне матеріальне середовище, сировина, енергія. І в результаті реалізації цих ефектів народжуються нові продукти, часто дуже різноманітні за номенклатурою і застосуванням. Наприклад, найпростіші ефекти, пов'язані з фазовими переходами речовин, породжують цілий комплекс корисних продуктів, отриманих плавленням, сублімацією, піролізом, кристалізацією, пароутворенням і т. д. В результаті ми отримуємо вироби з металів, у тому числі дорогі металів, бензин, кокс, холодильні установки і багато іншого.

Однак, якщо ми уважно придивимося до технології виробництва кожної з цих речей, то повинні погодитися, що в її виробництві беруть участь інші численні ефекти та явища — як фізичні, так і хімічні, а іноді й ефекти з абсолютно інших областей знань. Тому класифікація таких ефектів дуже необхідна для вивчення особливостей розвитку виробничих систем — як з точки зору отримання бажаної властивості або дії, так і з точки зору застосовності в конкретній технології. І, будучи невід'ємною частиною будь-якого виробничого процесу, певні ефекти повинні мати певні властивості щодо методів і номенклатури відходів, отриманих у тій чи іншій технології. Тому, вочевидь, можна говорити про якусь характеристику утворення відходів, яка характерна для того чи іншого ефекту. Можна вивчити наявні класифікатори тих чи інших ефектів з точки зору їх участі в утворенні відходів. Аналогічна спроба зроблена в таблиці 11.1.

Звичайно, в таблиці представлено лише малу частину всіх відомих явищ і ефектів, які можуть стати в нагоді в якості основи сучасних технологічних процесів. І не всі технологічні процеси, які можуть протікати в результаті представлених ефектів і закономірностей, вказані. За останні роки наука створила величезну кількість принципово нових технологічних процесів, особливо в області інформаційних і нанотехнологій, високотехнологічних і наукоємних процесів. Але і тут можна побачити їх особливість, пов'язану з різноманіттям способів впливу на сировину, різноманіттям типів технічних систем, здатних забезпечити ці способи перетворення сировини.

Розглянемо елементну базу технічної системи (ТС), здатної реалізувати певний технологічний процес. Вона складається з елементів самої технічної системи і деякої інфраструктури, яка включає компоненти сировини (в тому числі енергетичні), продукувальної бази, а також бази відходів.

Кожен з цих компонентів має деякі властивості, які можуть проявитися в даній ТС самостійно. Крім того, нас будуть цікавити системні властивості, які проявляють як елементи ТС, так і компоненти, коли вони беруть участь у тій чи іншій технологічній схемі.

Таблиця 11.1 — Причини і джерела утворення відходів при здійсненні деяких фізико-хімічних ефектів, явищ, методів

Ефект, явище, метод	Бажана властивість, дія	Технологічний процес, де використовується ефект	Характеристика відходів
1	2	3	4
Електро- та магнітосепарація	Поділ сумішів	Гірничо-металургійний видобуток та переробка	Втрати залізоємної сировини до 20%
Центробіжні сили	–	Харчова промисловість	Втрати матеріалу до 5% від вихідного
Дифузія		Зварювання тиском	Енергетичні втрати до 90%
Сорбція		Технології збору нафти на воді	Втрати відпрацьованого сорбенту до 100%
Центробіжні сили	Контроль руху рідини, газу	Пилоочищення повітря і газів	Втрати пилу до 25%
Капілярність		–	–
Осмоз		–	–
Ультразвук	Створення сумішів та розчинів	Технології отримання розчинів з важкорозчинними компонентами	Відходи у вигляді залишків, що не розчинилися до 10%
Кавітація	–	Технологія створення розчинів насиченого газу	–
Дифузія	–	Використання мембранних технологій	Втрати у вигляді залишкового дифузійного матеріалу до 30%
Фазові переходи	зміна температури	Плавлення, затвердіння речовин	Теплові втрати до 65%
		Пароутворення	Розсіювання крапель до 20%
Використання вихрових струмів	–	Нагрівання і плавлення металу	Теплові втрати до 15%
Електронна обробка	–	–	Теплові втрати до 5%
Фіксація при зміцненні рідин у магнітному та електричному полях	Стабілізація положення об'єкта	Робототехніка, електронна та радіопромисловість	Відходи у вигляді відпрацьованої суміші феромагнетика з рідиною до 100%

Продовження таблиці 11.1

1	2	3	4
Теплове розширення	–	Кріплення металевих деталей у парах	Теплові втрати з тертям до 70% от затрат
	Індикації положення	Контрольно-вимірвальні датчики	Теплові втрати до 30% от витрат
Ефект Джонсона-Рабека	Зміна тертя	–	–
Коливання	–	Вібраційні системи в кінематичних парах	Теплові втрати до 30% від витрат
Електрогідравлічний ефект	Руйнування об'єкта	Технологія підриву кар'єру	Втрати сировини при вибуху до 15–35% від видобутого
Хімічний вибух	–	Військова вибухотехніка	Відходи від руйнування. Кількість варіюється
	Перенесення в просторі	Застосування кумулятивних зарядів	Відходи від руйнування. Кількість варіюється
	Зміна об'єму об'єкта	Мікробибухо-технології при обробці металів	Втрати вихлопних газів, що утворюються
Перетворення в хімічно зв'язану форму		–	–
Розчинення в стиснених газах		–	–
Ефект пам'яті форми	Зміна лінійних розмірів об'єкта	Технологія моніторингу безпеки об'єкта	–
П'єзоелектричний ефект		Технологія вимірювання вагових характеристик	–
Фазові переходи (плавлення — застудіння)	Зміна форми об'єкта	Художнє лиття	Відходи у вигляді окалини, формувальних матеріалів до 50%
Застосування стислих газів	–	Виробництво метеозондів	Втрати у вигляді газу, що виділяється 100%
Екзотермічні реакції	Зміна маси об'єкта	Отримання пінометалу	Відходи у вигляді дефектів до 30% виробництва
Іонізація під впливом електричного поля	Зміна об'ємних якостей об'єкта	Електроліз	Втрати металу в електроліті до 10%
Введення феромагнетиків і дія магнітним полем		Робототехніка, маніпулятори	–

Закінчення таблиці 11.1

1	2	3	4
Впровадження меток, речовин, що перетворюють зовнішні поля	Контроль за станом і властивостями в об'ємі	Виробництво та використання люмінофорів	–
Озонування	Знешкодження об'єкта	Технології очищення питної води	Окислена мікрофлора та озон, що не прореагував
Спалювання водню	Отримання тепла	Водневий двигун внутрішнього згорання	Відхід у вигляді води 100%
Деформація	Передача енергії	Ковальсько-штампувальне виробництво	Відходи у вигляді окалини до 5%, відпрацьовані нафтопродукти до 40%
ударні хвилі		Допоміжні технології пластичного деформування металів	Втрати енергії ударною хвилею до 60% від споживаної енергії
Випромінювання, теплопровідність, конвекція	–	Рідка металургія	Теплові втрати в межах від 15% до 75%
Феномен відображення світлу	–	Передача енергії за допомогою оптичних волокон	Енергетичні втрати до 3%
Електромагнітна індукція		Технології зміни напруги в мережі (трансформатори)	Енергетичні втрати до 5%
Надпровідність		Технології передачі електроенергії на відстані	Енергетичні втрати в системах глибинного охолодження
Ультразвук	Ініціювання та інтенсифікація хімічних перетворень	Хімічні технології	Втрати речовини, яка не прореагувала, до 5%
Кавітація			Втрати речовини, яка не прореагувала, до 5%
Електричні розряди		Антикоагуляційні процеси в технології	Втрати речовини, яка не прореагувала, до 5–15%
Напівпроникні мембрани	Збірка речовини з атомів, наночастинок	Системи очищення газу та рідин	Втрати нерозсіяної речовини до 20%
Застосування рідких мембран	–	Тонкі хімічні технології	–
Молекулярна самозбірка		Нанотехнології з використанням наносемблерів	–

Під системними властивостями елементів ТС ми розуміємо ті з них, які об'єктивно належать особисто цьому елементу і які проявляються тільки в сукупності інших елементів конкретної ТС.

Системні властивості елементів зручно класифікувати за [7] як отримані в результаті прояву:

- системного ефекту, який полягає в непропорційно великому розвитку властивостей самого елемента в системі;

- системної якості, що полягає в прояві нової властивості (надвластивості) в ТС, що відсутня в окремих елементах. (Слід зазначити, що прояв надвластивостей здійснюється тільки в рамках ТС, але ніяк не окремих її елементів).

Набір системних властивостей елемента (СВЕ) в кожній конкретній технічній системі відрізняється, відрізняється від СВЕ в іншій ТС. Тому слід вважати, що системні властивості елементів є особливістю конкретних ТС, проявляються тільки в них і не обов'язково повинні бути присутніми в інших ТС, у складі яких є такий же елемент.

Пояснимо це на прикладі такого елемента, як будівельна цегла для системи «будівля» (табл. 11.2). Така властивість цегляної кладки зовнішньої стіни, як аеродинамічний опір, ніяк не проявляється в іншій ТС, наприклад, внутрішній цегляній стіні, цегляному фундаменті, і проявляється в ТС, де в якості, наприклад, умовної металльної зброї може використовуватися кусок цегли. Одного разу виготовлена цегла не може змінювати свої розміри, наприклад, висоту, однак, беручи участь у ТС, наприклад, цегляній стіні, вона проявляє системну властивість цієї ТС — змінювати висоту стіни.

Інший приклад. Системна якість літака — здатність самостійно підніматися в повітря — не належить жодному з його елементів і є надвластивістю тільки цієї ТС — літака.

Системні властивості компонентів сировинної бази технологічного процесу проявляються через активізацію і набуття ними властивостей, що роблять їх корисними продуктами (властивості товарної продукції з певною споживчою вартістю) або непотрібними компонентами (властивості відходів, зокрема відсутність споживчої вартості). Основне протиріччя, стосовно відходів, яке виникає в компонентній базі технологічного процесу, полягає в наступному. Даний компонент сировинної бази не використовується для виробництва корисної продукції, але він присутній у цій сировинній базі. Короткий запис узагальненого протиріччя: *компонент повинен знаходитися в даній сировині, і він не повинен бути у відходах.*

Повернемося до властивостей елементів ТС, які в рамках певного технологічного процесу можуть викликати прояв непотрібності таких компонентів, а простіше кажучи, появу відходів при використанні даної системи. Розглянемо характер прояву цих властивостей компонентів через закономірності розвитку технічних систем (рис. 11.3) [7].

Таблиця 11.2 — Приклад формування системних властивостей технічних об'єктів з ієрархічною структурою

Найменування ТС або її елемента	Особливі властивості елемента	Властивості системного ефекту	Властивості системної якості
1. Цегла	1. Вага. 2. Щільність. 3. Форма. 4. Уміння тримати форму. 5. Гігроскопічність. 6. Адгезія частинок	—	—
2. Цегляна стіна будинку	—	1. Здатність витримувати вертикальне навантаження. 2. Адгезія до цементу. 3. Низька гігроскопічність. 4. Здатність витримувати горизонтальне навантаження	1. Аеродинамічний опір. 2. Здатність підтримувати вертикальне положення стіни. 3. Здатність утримувати вертикальний шар штукатурки. 4. Здатність змінювати висоту стіни
3. Цегляний фундамент	—	1. Здатність витримувати вертикальне навантаження. 2. Адгезія до цементу. 3. Гідроізоляційні властивості. 4. Здатність витримувати горизонтальне навантаження	1. Здатність витримувати підвищені вертикальні навантаження. 2. Здатність підтримувати вертикальне положення будівлі. 3. Здатність утримувати вертикальний шар штукатурки. 4. Можливість змінювати висоту конструкції

Далі звернемося до численних робіт вчителів автора: Г. С. Альтшуллера, Б. Л. Злотіна, А. В. Зусман та інших, в яких відображені основні закономірності розвитку технічних систем. Наше завдання — трансформувати ці знання в бік такої важливої властивості будь-якої технічної системи, що одночасно забезпечує виробництво якогось корисного продукту і здатної до утворення відходів.

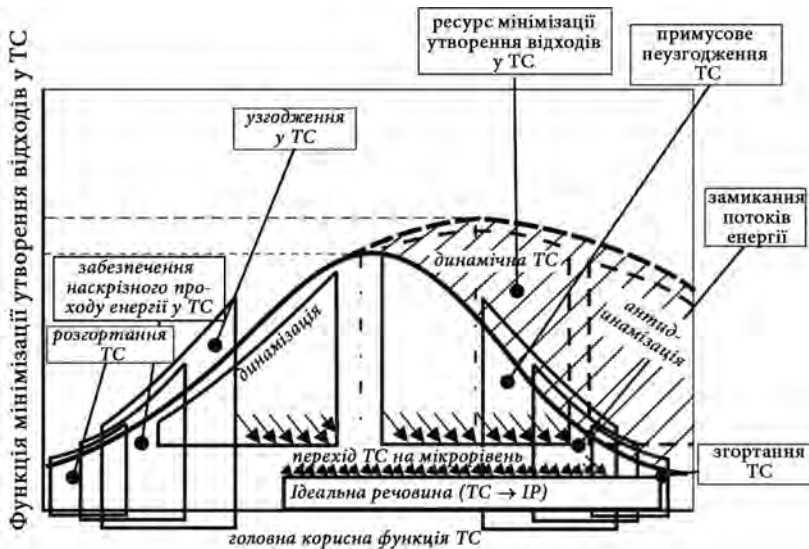


Рисунок 11.3 — Закономірності мінімізації відходів у загальній схемі розвитку технічної системи

11.2. Правило повноти окремих частин системи

Необхідною умовою існування технічної системи є наявність і мінімальна функціональність основних частин системи.

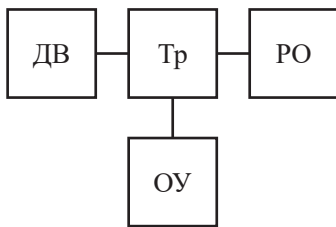


Рисунок 11.4 — Схема мінімально функціональної узагальненої технічної системи

До основних частин системи відносяться (рис. 11.4):

- двигун, рушійна сила (ДВ);
- трансмісія, передача зусиль (Тр);
- робочий орган (РО);
- орган управління (ОУ).

Мінімальна працездатність частин системи, щодо технологічного процесу, який у ній реалізується, пов'язана з участю компонентів сировинної бази в тих перетвореннях, які можливі в рамках даного процесу. Якщо якийсь компонент, присутній у сировинній базі, не може зазнати необхідних змін, що дозволяють йому отримати відповідні корисні властивості, це означає, що в системі відсутні мінімально необхідні частини, що дозволяють на якомусь етапі технологічного процесу перетворити цей компонент у потрібному напрямку.

Іншими словами, з позиції технологічності, мова йде про відсутність у технічній системі мінімально працездатного механізму або окремих його частин для додання компоненту сировинної бази корисних властивостей.

Наприклад, у хімічних технологіях це означає відсутність необхідного реагенту (робочого органу), здатного відповідним чином змінювати властивості компонента сировинної бази, щоб надати йому функцію корисності (рис. 11.5).

Можливо, що реагент (РО) існує, але немає запасу енергії (ДВ). Функцію передачі в даному випадку може грати хімічно активне середовище системи. Ще один приклад. У процесах механічної обробки металу металеві відходи виникають саме тому, що технічна система має мінімальний ланцюг елементів (рис. 11.6), здатних відокремлювати частини металу одна від одної, і не містить робочого органу, здатного по-іншому трансформуватися, наприклад, пластифікувати заготовку, зберігаючи при обробці всю її кількість і не віддаючи частину до відходів.

Крім того, така система не має енергетичних і матеріальних ресурсів, щоб раціонально обробити ту частину заготовки, яка відділяється при механічній обробці (стружка, тирса і т. д.), і надати їй властивості споживчої вартості.

Іншими словами, умовою мінімізації утворення відходів у технології є наявність мінімальної кількості деталей (ДВ, Тр, РО, ОУ) для кожного енергетичного каналу, здатних цілеспрямовано трансформувати набір компонентів сировинної бази в необхідному напрямку.

Не виключено, що дві і більше частин ТС відсутні, і це заздалегідь є підставою для бракування групи компонентів сировинної бази при здійсненні технологічного процесу і відправці їх у відходи.

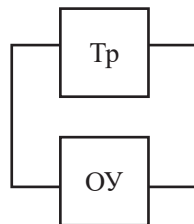


Рисунок 11.5 — Схема варіанту хімічної технології для елемента сировинної бази, що відторгається самою технологією

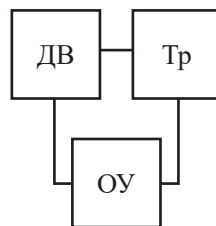


Рисунок 11.6 — Схема варіанту технології механічної обробки металів для компонентів сировинної бази, відхилених за самою технологією

11.3. Умова енергетичної провідності системи

Необхідною і достатньою умовою життєздатності технічної системи є наскрізне проходження енергії через всі її частини.

Важливою причиною утворення потоків «непотрібних» компонентів у техніці є нестача енергетичних потоків, які впливають на ці компоненти. Одна з основних причин переривання енергетичних потоків криється в самій технічній системі і може бути пов'язана з невідповідністю якості енергії властивостям енергетичних каналів (різновид енергетичного опору) між елементами ТС. Відповідно до цього правила, рекомендується використовувати один конкретний вид енергії для проходження через всі елементи ТС.

З точки зору мінімізації бази відходів в ТС, важливу роль відіграє безперервність і максимальна однорідність каналів передачі енергії й участь у цих каналах максимально можливої кількості компонентів сировинної бази системи. На етапі активації компонентів сировинної бази системи енергетична провідність є визначальним фактором для додання цим компонентам властивостей, закладених у них за цією технологією.

Таким чином, найважливішою причиною появи відходів при роботі ТС є відсутність каналів проходження енергії, необхідної для цілеспрямованої зміни властивостей компонентів сировинної бази.

Істотним моментом у цій закономірності, з точки зору аналізу утворення відходів у системі, є наступне. Якщо в системі є елементи або частини ТС, які уповільнюють проходження енергії через неї, значить, система запрограмована на розтрату енергії.

Керованість елементів ТС забезпечується енергетичною провідністю між ними. Тому, чим більша кількість компонентів сировинної бази підлягає управлінню за рахунок ресурсів даного технологічного процесу, тим менша база відходів у системі.

Таким чином, причиною утворення потоку компонентів, які не беруть участі в створенні корисних продуктів і формують базу відходів у системі, є недостатня енергетична провідність між елементами ТС та іншими складовими цієї системи.

В якості інструменту, здатного впливати на характер енергетичної провідності ТС, пропонується використовувати реструктуризацію енергетичних полів ТС, включення допоміжних (в тому числі ресурсних) полів, які є однорідними, здатними до хорошої провідності. Це дозволить цілеспрямовано впливати на «пасивні» або «непотрібні» компоненти сировинної бази, приводити їх в активний, чи нерівноважний, стан, змінювати властивості відповідно до фізичних, хімічних, механічних та інших явищ, властивих даному технологічному процесу. Такий підхід закладає основи системного підходу до проблеми мінімізації відходів.

Ілюстрацією можуть служити системи локального селективного обігріву людини на основі інфрачервоного нагріву або мікрохвильового обігріву, коли випромінювання заданої потужності поглинається, наприклад, тільки молекулами води в підшкірному шарі людського тіла. Енергія системи не витрачається на нагрівання повітря і непотрібних предметів і поверхонь.

Вирішенню цих завдань сприяє також приклад реалізації методу електродинамічної сепарації твердих побутових відходів з метою вилучення з них металобрухту під дією біжучої магнітної хвилі в площині, перпендикулярній руху вихідної суміші [6]. Умова справедлива і для провідності енергетичних відходів. Регулюючи енергетичний опір між окремими елементами системи, можна змінювати, наприклад, швидкість втрат тепла в навколишнє середовище.

11.4. Підвищення ступеня ідеальності системи

Загальним правилом є те, що *підвищення ефективності і розвиток технічної системи здійснюється в напрямку підвищення ступеня її ідеальності*.

Ідеальна технічна система — це система, маса (m), розміри (l) і енергоємність (E) якої прямують до нуля, а її здатність виконувати свої функції (F_n) максимальна. Іншими словами, це система з максимальною негентропією. Саме це визначення показує вектор розвитку даної закономірності по відношенню до відходів.

Наприклад, це магнітогідродинамічний насос для перекачування рідких металів, в якому магнітне поле створюється електромагнітом і який отримує енергію від термопар, використовуючи тепло розплавленого металу. Використання ресурсів системи, таким чином, виключає створення додаткових підсистем подачі енергії в насос, m , l , E -витрати *знижуються, а здатність системи виконувати свою функцію максимально підвищується*.

Підвищення ступеня ідеальності ТС (I_{TS}) може бути досягнуто двома способами:

- за рахунок зменшення матеріальної та енергетичної складової технічної системи в цілому, коли

$$I(F_n) = \lim_{\substack{m, l, E \rightarrow 0, \\ n = \text{const}}} F_n(m, l, E); \quad (11.1)$$

- за рахунок збільшення функціональності системи

$$I(F_n) = \lim_{\substack{m, l, E = \text{const}, \\ n \rightarrow 3}} F_n(m, l, E). \quad (11.2)$$

Перший напрямок пов'язаний із необхідністю попередньої підготовки сировинної бази, відсіювання непотрібних компонентів на попередніх стадіях тех-

нологічного процесу. Другий напрямок передбачає зміну властивостей і якостей технічної системи в бік збільшення її можливостей надавати існуючій сировинній базі ознаки «потрібних» компонентів і використовувати їх для створення корисних продуктів. В обох випадках підвищення ідеальності системи сприяє зменшенню компонентної бази відходів даного ТС. Тільки в першому випадку це пов'язано з емісією відходів у надсистему, а в другому — з реалізацією внутрішніх ресурсів самої системи. Другий підхід більш складний у реалізації, оскільки пов'язаний з реструктуризацією ТС, зміною і розширенням її функцій з тими ж або скороченими ресурсами, але він також більш ефективний з точки зору поводження з відходами.

Наведемо приклад. При бурінні свердловин для палів видобутий ґрунт не видаляють у відвали, а змішують зі сполучною речовиною, отримуючи міцний матеріал, який відразу йде на відповідне закачування і таким чином, виготовлення тих же палів.

Підвищення ступеня ідеальності реальних технічних систем, як правило, здійснюється комбінованим методом із двох наведених вище. Вигода, яку отримує система від скорочення матеріальних і енергетичних потоків, витрачається на придбання додаткових корисних функцій. Загальна функція ідеальності в даному випадку

$$I(F_n) = \lim_{\substack{m,l,E \rightarrow 0, \\ n \rightarrow 3}} F_n(m,l,E). \quad (11.3)$$

Зазвичай, виникнувши, технічна система починає розвиватися в просторі, нарощуючи власні енергетичні і матеріальні m,l,E -ресурси (період розгортання системи, тобто структурно-функціонального розвитку). А потім, досягнувши певної межі m,l,E -насиченості, руйнується (стадія структурної уніфікації з неспадаючою функціональністю системи). При цьому накопичені m,l,E -ресурси вивільняються для розробки нового функціоналу системи. Загальний процес ідеалізації технічної системи набуває сенсу, як

$$I(F_n) = \lim_{\substack{m,l,E \rightarrow \max \\ n \rightarrow 3}} F_n(m,l,E) + \lim_{\substack{m,l,E \rightarrow 0 \\ n \rightarrow 3}} F_n(m,l,E). \quad (11.4)$$

Важливим моментом для розуміння принципів утворення відходів у технічній системі є концепція її ресурсу. Там, де фактичний технологічний процес не справляється з компонентами сировинної бази, технічна система перетворює їх за своїми законами, використовуючи для цих цілей існуючі ресурси самої системи. Наприклад, диференціація потоків «потрібних» і «непотрібних» компонентів у сталеплавильній ванні відбувається автоматично, за рахунок «дешевого» ресурсу — барботажного газу, який несе «непотрібні» компоненти у вигляді пінистого шлаку до верхньої частини ванни.

Розглянемо основні етапи розвитку технічних систем із позицій підвищення ступеня їх ідеальності.

1. *Виникнення потреби в технічній системі.* Виникнення конкретної технічної системи диктується вітальними потребами нижчих рівнів людини, наприклад, за А. Маслоу. Як правило, серед типових потреб людини є очевидні, не латентні. На даному етапі питання про втрати, відходи і т. д. взагалі не піднімається через відсутність ідеології формування самої технічної системи.

2. *Формулювання головної корисної функції (ГКФ)* — це соціальне замовлення нової технічної системи. Зазвичай головна корисна функція відображає економічні, іноді соціальні і, майже ніколи, екологічні потреби суспільства, що зосереджені в даній технічній системі. Виняток становлять лише ТС, прямим призначенням яких є надання медичних, освітніх та інших соціальних послуг, уловлювання, очищення та переробка відходів. Таким чином, вже на цьому етапі закладаються основи екологічно несприятливих технологій.

3. *Синтез нової технічної системи, початок її функціонування.* Експлуатація системи на даному етапі може тривати дуже довго, враховуючи її фізичну новизну. Система має дуже вузьку та специфічну ГКФ. Вона апріорі є відходоутворюючою, оскільки забезпечує тільки конкретні утилітарні економічні потреби і майже не враховує екологічні. У цьому випадку у формулі (11.4) перший многочлен позначається як

$$I(F_n) = \lim_{\substack{m,l,E \rightarrow \min \\ n \rightarrow \min}} F_n(m,l,E), \quad (11.5)$$

А другий відсутній зовсім.

4. *Збільшення головної корисної функції ГКФ.* Тут мається на увазі розширення кількості корисних функцій. Робиться спроба «вичавити» з системи більше, ніж те, на що вона здатна. Умова ідеальності в даному випадку наступна:

$$I(F_n) = \lim_{\substack{m,l,E \rightarrow \text{const} \\ n \rightarrow \max}} F_n(m,l,E). \quad (11.6)$$

Бажання збільшити ГКФ може призвести до погіршення інших показників системи, в тому числі до збільшення здатності забруднювати навколишнє середовище. На цьому етапі загострюються технічні протиріччя, пов'язані з розвитком системи, в тому числі пов'язані з відносинами з навколишнім середовищем.

На цьому етапі здійснюється *формулювання технічних протиріч*.

Зробимо невеликий відступ. Історично склалося так, що за всі епохи людина ніколи не стикалася з гострим завданням переробки відходів власної діяльності. Оскільки прогрес у технічних системах, в першу чергу, був орієнтований на економічні пріоритети або був пов'язаний з передачею машинам людських трудових функцій, завдання утилізації відходів, вироблених цією технікою, майже ніколи не вирішувалося людиною на рівні недопущення завдання шкоди природі. Тому з безлічі технічних протиріч, що виникають кожен раз на даному етапі, автоматично виключалися ті, що пов'язані з екологічними проблемами. Зараз це майже історична реальність.

Але збільшення матеріальних і енергетичних відходів означає зменшення m, l, E -ресурсів системи, а значить, втрату ідеальності. Тому, коли виникає необхідність у новій функції, зокрема утилізаційній, для зменшення бази відходів у ТС, сама система часто не має для цього ресурсів і починає розвиватися в напрямку надсистеми (наприклад, за рахунок будівництва додаткових очисних споруд і пристроїв). Цим ще навіть більше знижується функція $F_n(m, l, E)$ системи, але головна корисна функція практично не збільшується, оскільки захоплення й утилізація не можуть дати 100%-го результату.

Наприклад, у гранульованих фільтрах для очищення технічної води в якості фільтруючого матеріалу часто використовуються технологічні продукти або матеріали сировини, завдяки чому підвищується ресурс фільтрувальної системи за рахунок внутрішніх резервів. На півночі сніг використовують як фільтруючий шар для очищення повітря.

5. *Вирішення технічних протиріч, сформульованих на попередньому етапі.* Важливим моментом тут є вибір мети. Таким чином, щоб екологічні протиріччя увійшли до сфери інтересів виробника і стали для нього актуальними.

Наприклад, для миття жирного посуду в ресторанах пропонується замість синтетичних миючих засобів використовувати розчин натрієвої соди, який обмилюється харчовими жирами, економлячи таким чином миючі засоби і вирішуючи проблему утилізації досить небезпечних синтетичних миючих засобів.

6. *Формулювання нової головної корисної функції (ГКФ) системи поза підсистемами, що були згорнуті.*

На кожному періодично виникаючому етапі розгортання-згортання системи виникають нові технічні протиріччя, які пов'язані з необхідністю кожен раз знов перетворювати матеріальні та енергетичні ресурси, накопичені в період розгортання нової системи, в нові функції внаслідок згортання підсистем. І знову ж таки, проблеми відходів, які не були вирішені на попередніх етапах, можуть залишитися осторонь від вирішення з різних суб'єктивних причин на новому етапі. Тому що об'єктивне вирішення технічних протиріч типу «сировинна база повинна містити j -й компонент, природно закладений у ній, і не повинна містити його для реалізації в даній ТС сприяє зростанню ідеальності системи. У формулі (11.6) це буде відображено наступним чином:

$$I(F_n) = \lim_{\substack{m, l, E \rightarrow 0, \\ n \rightarrow \max}} F_n(m, l, E). \quad (11.7)$$

Наприклад, у процесі розвитку комп'ютерної техніки від вакуумних ламп до сучасних великих інтегральних схем лімітуючий фактор розвитку системи — це відношення обсягу оброблюваної інформації до витрат енергії — збільшився в кілька мільйонів разів.

Таким чином, підвищення ідеальності в розвитку технічної системи є одним з основних напрямків створення маловідходних технологій.

11.5. Стан переходу в надсистему

Розвиток технічної системи, яка досягла своєї межі на даному рівні, може бути продовжено на рівні надсистеми.

Іншими словами, підвищення ідеальності ТС здійснюється в напрямку *розгортання* — розширення виконуваних корисних функцій за рахунок ускладнення системи і подальшого *згортання* — спрощення системи при збереженні або збільшенні кількості й якості її корисних функцій (рис. 11.7).

Така закономірність існує немов у двох частинах, кожна з яких, тим не менш, розвивається за наступними загальними правилами.

На початковому етапі свого існування технічна система розвивається по шляху від мінімально життєздатного ланцюга своїх елементів, здатних виконувати свою ж основну функцію, в бік розширення кількості виконуваних функцій за рахунок збільшення кількості підсистем (розгортання системи), підвищення якості цієї реалізації, зменшення видимих недоліків системи. Відомі наступні етапи еволюції технічних систем у цій частині закономірності:

1 — виділення потрібної властивості елемента;

2 — поділ однорідного елемента на функціональні зони;

3 — спеціалізація зон елемента за функціями, перехід до неоднорідного елемента. Наприклад, вода нагнітається в зону високотемпературних вихлопних газів із двигуна внутрішнього згорання для зниження шуму за рахунок зниження температури і підвищення парціального тиску газового потоку [8];

4 — створення підсистеми спеціалізованих елементів ТС з явними значеннями корисних функцій. Зокрема, щоб запобігти скиданню нафти в море, в танкер перед завантаженням заливається трохи води, яка потім видавлюється під тиском великої кількості нафти в простір, що утворився між бортом і спеціальними листами, підвішеними уздовж нього зсередини у вигляді водяного поясу. Коли в корпусі утворюється пробоїна, вода не виливається в море, а її рівень зрівнюють із рівнем води в морі. Нафта залишається в трюмі [8];

5 — згорання таких підсистем у новий ідеальний елемент з деякою посиленою властивістю, що збільшує головну корисну функцію. Наприклад, відомі способи знизити витрати палива в двигунах внутрішнього згорання шляхом додавання в паливо не більше 10% води. З'ясовано, що при змішуванні навіть 50% води з паливом горюча суміш буде займатися, причому не менш ефективно, якщо суміш достатньо емульгована. При цьому вода, яка зазвичай ускладнює займання палива, вибухає у вигляді крихітних крапельок, оточених паливом, і додатково перемішує паливо, посилюючи таким чином основну корисну функцію ДВЗ. Зокрема, згорання водовугільної суспензії відбувається практично повністю за рахунок додаткового окиснювача, роль якого відіграє пар [10]. Всі ці варіанти розвитку технічної системи пов'язані з різким зниженням викидів газу в атмосферу.



Рисунок 11.7 — Закономірності розвитку технічних систем (перехід до надсистеми)

У цій частині розвитку технічної системи закономірність дозволяє, з одного боку, прогнозувати незначне зменшення відходів, пов'язаних зі здійсненням технологічного процесу в рамках цієї системи. Робиться це на 3–4-му з вищезначених етапів за рахунок тонкого налаштування, вдосконалення окремих її елементів ТС, впровадження окремих підсистем, що поліпшують технологічний процес і дозволяють вловлювати, концентрувати й обробляти шкідливості виробництва. Зокрема, сюди відносяться будь-які пристрої для локалізації й уловлювання шкідливих газів і пилу, очищення повітря і стічних вод і т. д., які виступають в якості нових підсистем, що підвищують головну корисну функцію основної технічної системи. Однак це не усуває причину таких забруднень, тобто відходів. Вони пригнічуються все більш складною підсистемою після їх утворення в основному, з самого спочатку сформованому функціональному ланцюжку.

З іншого боку, для компонентів сировинної бази технологічного процесу розгортання технічної системи означає, перш за все, збільшення кількості каналів формування внутрішніх потоків «потрібних» і «непотрібних» компонентів сировини в даній технології. Процес розвитку йде в напрямку поділу моноелемента ТС на зони, частини, шари, з яких потрібною властивістю повинні володіти тільки окремі з них, наприклад, робоча зона речовини.

Дроблення «непотрібних» компонентів означає наділення їх новими якостями, їх більш глибоку спеціалізацію, сприяє розсіюванню і збільшенню кількості каналів для їх надходження з системи в навколишнє середовище. Прикладом може служити інтенсивне стирання аглошихти на колошнику доменної печі і відповідне збільшення пиловидалення з цієї печі.

Згортання технічної системи передбачає скорочення кількості підсистем і надання їх функцій іншим елементам технічної системи. Це пов'язано з підвищенням якості і збільшенням кількості виконуваних системою функцій, зниженням m, l, E - витрат за рахунок зміщення окремих підсистем у надсистему, розпадом таких підсистем в ідеальну (багатофункціональну) речовину. Наприклад, електронне запалювання в автомобілі є альтернативною підсистемою, яка сприяє зменшенню розмірів двигуна, який хоч і не змінює технічних властивостей, як основна система, але зменшує кількість і шкідливість газових вихлопів, сприяє поліпшенню іншої надсистеми — навколишнього середовища. Це проявляється через принципово інший механізм спалювання одних і тих же компонентів сировинної бази і залучення більшої їх кількості в зону горіння. Таким чином досягається скорочення відходів газу в системі.

Як правило, розвиток технічних систем у цій частині закономірностей пов'язаний із локалізацією компонентів бази відходів у технологічному процесі, підвищенням їх ідеальності за рахунок надання їм властивостей «потрібних» компонентів. Мається на увазі, перш за все, зміна фізичних або технічних принципів активації і структурно-просторового перерозподілу цих компонентів, самоорганізації і формування окремих потоків компонентів за ознакою приналежності і т. д.

Прикладом згорання з метою додання елементам потрібних властивостей є рефлектор (підсистема) лампи, який поміщається всередину колби, збільшуючи таким чином світловий потік лампи і зменшуючи витрати теплової енергії в навколишнє середовище. Інший приклад — магнітні гранульовані фільтри, в яких структура фільтруючої насадки змінюється в залежності від режиму роботи (фільтрації або регенерації) і фракційного складу пилу в газовому потоці.

Особливий інтерес представляє згорання ТС у бік розвитку (наприклад, мініатюризації) всіх підсистем всередині існуючої системи. Це робиться без витіснення цих підсистем у надсистему і пов'язано зі зниженням m, l, E -витрат (за рахунок мініатюризації), збільшенням головної корисної функції (за рахунок, наприклад, підвищення точності виконання, зниження ймовірності помилок) при однаковій кількості елементів аж до нового якісного стрибка в системі.

Прикладом може служити розробка елементної бази комп'ютерів. Якби вона залишилася на рівні 1970 року, то при нинішній потужності і швидкості, а також досягнутій масовості комп'ютерів експлуатаційні витрати енергії склали б п'яту частину сучасного світового виробництва енергії, а відходи кольорових і дорогоцінних металів збільшилися б у 150–220 разів. Опосередковане забруднення навколишнього середовища, пов'язане з виробництвом таких систем і забезпеченням енергетичними ресурсами, різко зросло б.

У той же час розвиток комп'ютерів шляхом різкого зниження m, l, E -витрат (ланцюжок: окремі деталі, збірка, мікрозбірка, інтегральні схеми, БІСи, ЧПСи) при фактичному збереженні основних функціональних елементів (опорів, індуктивності, ємнісних, напівпровідникових елементів) дозволило максимально розширити функції системи аж до її якісного стрибка — створення біоЧППів. При цьому, суттєвий розвиток отримало рішення багатьох екологічних проблем, пов'язаних із виробництвом та експлуатацією комп'ютерних систем. Нове протиріччя, яке виникає в даному випадку і є безумовним джерелом подальшого розвитку систем — масове виробництво і здешевлення комп'ютерної техніки призводить до розпорощення рідкісних і цінних мінеральних матеріалів, наростання проблем, пов'язаних з їх післяексплуатаційним виділенням, переробкою, зменшенням утворення відходів. Відома аналогія полягає в тому, що, наприклад, якби автомобіль 50-х років розвивався так само, як і комп'ютерна техніка, його m, l, E -ресурси були б значними — двигун з об'ємом $0,5 \text{ см}^3$ зажадав би всього $1 \cdot 10^{-5}$ літра бензину на 1 км шляху, а вартість машини склала б не більше 2 доларів. Ступінь забруднення повітряного басейну автомобільним транспортом при його нинішній кількості та інтенсивності експлуатації знизилася б в $1,5 \cdot 10$ разів. Це забезпечило б скорочення споживання сирих нафтопродуктів в 2–2,5 рази в порівнянні з існуючими.

Це можливий результат згорання тільки однієї з відомих екологічно небезпечних технічних систем.

11.6. Узгодження-неузгодження технічних систем як напрямок зменшення утворення відходів

Необхідною умовою підвищення ефективності технічної системи є узгодження (або свідоме неузгодження) параметрів і властивостей системи.

Важливою причиною появи відходів у технічній системі є спочатку запрограмована відсутність узгодження, наприклад, лінійних параметрів компонентів сировинної і виробничої баз у технологічному процесі на основі дроблення компонентів сировинної бази (рис. 11.8). Це означає, що градієнт невідповідності лінійних параметрів сировинних і продукційних компонентів виробництва може бути критерієм інтенсивності розробки бази відходів:

$$\Delta l_{ij}^k = F(\alpha^k), \quad (11.8)$$

де $\Delta l_{ij}^k = l_i^k - l_j^k$ — неузгодженість лінійних розмірів параметрів сировини (i) і виробничої (j) бази для k -ої ТС;

α^k — функція відторгнення компонентів у технологічному процесі k -ої системи.

Градієнт неузгодженості не може бути більшим, ніж відповідний параметр продукційних компонентів — це верхня гранична умова. Чим вона вища, тим більш розвинена база відходів. Наприклад, оптимальна технологія розкрою металевого листа передбачає максимально можливе узгодження кратності лінійних розмірів ріжучих деталей і заготовки. Чим більша ця координація, тим менше відходів від розкрою.

Інший приклад. Автоматичне управління подачею палива в установки згоряння — це не що інше, як спосіб узгодження витрати енергоносія і параметрів енергоспоживання в системах. Чим вище це узгодження, тим менше відходів у технічній системі у вигляді тепловтрат, і навпаки, неузгодженість параметрів — потреби і подачі палива — сприяє збільшенню тепловтрат.

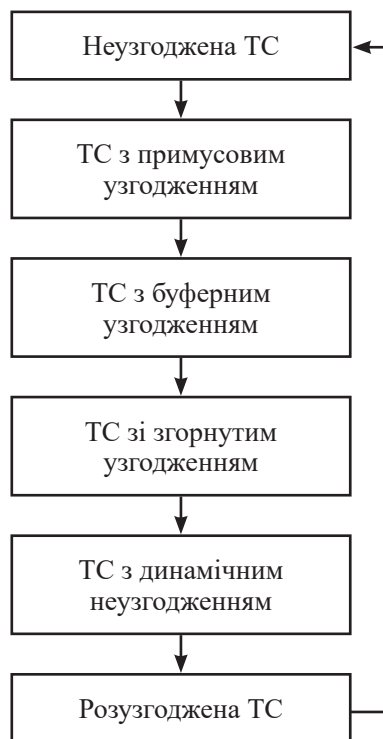


Рисунок 11.8 — Закономірності, розробка технічних систем, (узгодженість–неузгодженість)

А при очищенні труб від бруду за рахунок різниці температур, що подаються в трубу по черзі холодною і гарячою водою, цей ефект посилюється за рахунок спільного пропускання пара і льоду [11].

Важливим фактором зниження утворення відходів у технічній системі є такий вид узгодження, як вирівнювання енергетичної провідності між усіма елементами і підсистемами (дивись розділ 11.3). Згідно з правилом енергетичної провідності, така умова є основою для додання властивостей корисних продуктів компонентам сировинної бази.

Зокрема, узгодження частотних характеристик і резонансних явищ, відомих у техніці, сприяють прояву внутрішніх енергетичних ресурсів ТС для виконання корисної функції без додаткового енергопостачання ззовні і, отже, сприяють зменшенню втрат енергії в узгоджених таким чином системах.

Наприклад, при способі транспортування сипучого матеріалу по транспортній стрічці [12] з метою зниження енергетичних витрат частота порційної подачі матеріалу на стрічку узгоджується з частотою власних коливань навантаженої стрічки і пружно встановлених роликів опор. Основна властивість автоколивань такої системи полягає в тому, що вона сама контролює потік енергії ззовні за рахунок внутрішнього зворотного зв'язку.

Норвезькі вчені запропонували метод утилізації енергії морських хвиль шляхом установки паралельно берегу ряду бетонних стін у прибережній смузі з рівним, задалегідь заданим кроком. Хвилі, що проходять між стінками, накладаються одна на одну, їх амплітуда збільшується в кілька разів, приносячи на берег максимум енергії хвиль, яка використовується [13]. Однак при цьому зростає фактор відплати — ступінь руйнування берегової лінії.

У хімічних процесах прояв закономірності здійснюється в напрямку узгодження хімічної активності всіх елементів, що беруть участь у технологічному процесі. Ступінь виконання цієї умови є фактором зниження відходів від даної технології.

Важливою особливістю узгодження параметрів технічних систем є вирівнювання властивостей їх елементів по всьому їх обсягу. Це ілюструється використанням надчистих металів, таких як залізо, що виключає утворення, наприклад, мікрогальванічних парів, що сприяють утворенню корозії і втрат металу.

Існує ймовірність розвитку технічної системи в бік свідомого неузгодження параметрів і властивостей елементів і системи в цілому. Як це впливає на розвиток бази відходів?

Відомий приклад. Для підвищення потужності і ККД електричних машин використовуються феромагнітні сердечники, на яких замикаються магнітні силові лінії (узгодження траєкторії магнітних силових ліній). Однак при цьому були створені умови для додаткових втрат енергії від протікання вихрових струмів всередині активної зони. Рішення було знайдено в навмисній невідповідності —

використанні набірних феросердечників з листової сталі, які замикають на себе вихрові струми і не заважають основному магнітному потоку.

Принцип навмисного неузгодження фізичних властивостей води був використаний шведським інженером К. Дюнкерсом [14], який запропонував транспортувати прісну воду морем у гігантських контейнерах без дна. Прісна і морська вода не змішуються через різну щільності, і такі ємності можна транспортувати на дуже великі відстані без істотних втрат.

Прикладом неузгодження інформаційних потоків (при наявності умови їх безперервності по всіх елементах системи) є метод розпізнавання танкерної нафти, що потрапила у воду, за рахунок спеціальних міток-присадок і таким чином виявлення порушників, що забруднюють океани і моря.

11.7. Зменшення утворення відходів за рахунок динамізації елементів системи

Загальне правило наголошує, що *підвищення ефективності технічних систем здійснюється в напрямку підвищення динамічності складових ланок.*

Іншими словами, жорсткі, статичні системи для підвищення своєї ефективності мають здатність розвиватися в напрямку переходу до більш гнучкої, мінливої структури і до режиму роботи, який адаптується до змін зовнішнього середовища (рис. 11.9).

Розвиток технічних систем у напрямку цієї закономірності сприяє активізації компонентів сировинної бази технологічного процесу, підвищенню здатності компонентів до диференційності в умовно розділені потоки корисного і непотрібного (див. рис. 11.2).

Чим статичніші функціональні елементи системи, тим менше вони здатні активізувати компоненти сировинної бази. І більшою мірою система чинить опір проходженню енергії через неї. Будь-який елемент технічної системи завжди пов'язаний умовними енергетичними каналами з іншими елементами. Тому статичність окремого елемента означає, перш за все, обмеження його зв'язків з іншими членами системи, жорсткість енергетичних



Рисунок 11.9 — Закономірності розвитку технічних систем (динамізація ТС)

каналів, неможливість впливу на якусь частину компонентів сировинної бази. Саме тому в статичній ТС з самого спочатку закладаються передумови для відторгнення певної кількості цих компонентів і створення бази відходів.

Збільшення динамічності ТС пов'язане зі збільшенням активності підсистем, розширенням їх функціональних можливостей. В рамках конкретного технологічного процесу це означає можливість створення умов для перерозподілу сировинних компонентів у загальних потоках на користь «потрібних». Таким чином, зменшується частка «непотрібних» компонентів у паралельних потоках сировини і зменшується кількість відходів у даному технологічному процесі. Наприклад, для управління опріснюванням води в іонообмінному апараті в якості клапана для регулювання подачі води використовується сам пакет з іонообмінною смолою, яка змінює свій обсяг у залежності від ступеня солоності води. Зі зниженням солоності обсяг упаковки стає меншим — на опріснення подається більше води.

В ідеалі весь спектр компонентів сировинної бази повинен брати участь у створенні корисних продуктів. Тобто технічна система повинна вміти реалізовувати саме ті фізичні та інші впливи, які певним чином активізують всі компоненти сировинної бази, використовуючи їх для отримання готової продукції. Іншими словами, динамізація технічної системи означає підвищення адаптивності технології до заданої сировинної бази.

Крім того, підвищення динамічності технічної системи забезпечує незалежні резерви підвищення ефективності її природоохоронних функцій незалежно від того, плануються вони в системі чи ні.

Приклади. Для захисту морських берегів від хвильової ерозії в США замість статичних і громіздких бетонних хвилерізів уздовж берегової лінії передбачені штучні водорості з нешкідливого полімеру (пропілену), які затримують піщану масу і створюють постійно мінливі відкладення.

Пристрій для очищення газів і рідин від твердих частинок у вигляді круглої пружини з регульованими зазорами, між витками яких пропускається очищений потік і здійснюється фільтрація, відрізняється тим, що для регенерації засміченої пружини, її випрямлення і звільнення зазорів від накопичених частинок використовується надлишковий тиск газу всередині пружини, який розпрямляє пружину і звільняє зазори від частинок, що там накопичилися [15].

11.8. Використання законів переходу технічних систем з макрорівня на мікрорівень

Одним з основних напрямків розвитку технічних систем є лінія, пов'язана з поступовим переходом системи з макрорівня на мікрорівень (див. рис. 11.10). Це стосується як всіх частин системи, так і її енергетичних полів. Процес пере-

ходу на мікрорівень для технічної системи означає її інтенсивний розвиток, пов'язаний з використанням внутрішніх ресурсів системи.

Перехід на мікрорівень для будь-якої ТС означає запровадження цих змін як для елементів самої системи, так і для компонентів сировинної та інших матеріальних баз технологічного процесу.

Поки система розвивається на макрорівні, будь-яка технологія, реалізована на ній, не передбачає глибокої стратифікації компонентів сировинної бази за певними властивостями. Розробка елементів технічної системи в напрямку мініатюризації здійснюється за наступними напрямками роботи з речовими компонентами:

- забезпечення підвищення ступеня дроблення компонентів і об'єднання розділених частин у нову систему;

- збільшення ступеня дроблення суміші речовини з пористістю (перехід на капілярно-пористі матеріали);

- заміна матеріальної частини системи на енергетичну;

- забезпечення активації властивостей цих компонентів.

Перехід на мікрорівень для будь-якої технічної системи зазвичай починається з диференціації властивостей і функцій її частин, елементів, до яких пред'являються протилежні вимоги. Це сприяє більш ефективній активізації компонентів сировинної бази в технологічному процесі та їх структурно-просторовому перерозподілу.

Наприклад, будь-яка механічна обробка металу різанням пов'язана з утворенням відходів у вигляді поверхневого шару того ж металу. Перехід на мікрорівень для такої ТС означає дроблення, подрібнення заготовки на малі частинки і формування потрібної деталі з частинок металу шляхом його спікання, без істотних відходів. Це не що інше, як відома технологія порошкової металургії.

Іншим прикладом переходу на мікрорівень є те, що будь-який спосіб глибокого дроблення спалюваних твердих матеріалів сприяє збільшенню повноти їх згоряння і зменшенню відходів.

З розвитком технічних систем у напрямку дроблення елементів системи пов'язано цілий



Рисунок 11.10 —
Закономірності розвитку
технічних систем (перехід
на мікрорівень)

напрямок маловідходних технологій виробництва комбінованих (композиційних) матеріалів. Це пов'язано, перш за все, з тим, що вирішення основного протиріччя між орієнтацією технології на конкретний продукт і примусовим формуванням бази відходів легше досягти на компонентному мікрорівні сировинної бази.

Однак якщо мати на увазі післяексплуатаційний період життя таких матеріалів, то він пов'язаний із певними труднощами при їх переробці, як відходу.

11.9. Використання нерівномірності розвитку окремих частин технічної системи для мінімізації утворення відходів

Ця закономірність полягає, наприклад, в основі пояснення динамізації розвитку науки і техніки, вибухового механізму науково-технічної революції.

Адже чим більш розвинена технічна система по відношенню до решти технічного середовища, тим більше протиріч між нею і цим середовищем необхідно усунути для її нормального функціонування. Загальне правило тут таке. *Розвиток частин технічної системи здійснюється тим нерівномірніше, чим складніша система.*

Зокрема, це стосується тієї частини закономірності, яка пов'язана з розгортанням системи, розширенням її функціоналу за рахунок появи нових елементів і підсистем, які мають інший рівень розвитку в порівнянні з існуючими в даній системі.

Це в рівній мірі відноситься і до тих підсистем, які пов'язані з виробництвом готової продукції і мінімізацією відходів у рамках функціонування більш досконалих технічних систем і пов'язаних з ними технологічних процесів. Як правило, в менш розвиненому технічному середовищі відсутній механізм переробки відходів нових, більш розвинених виробництв, що є причиною їх накопичення і забруднення навколишнього середовища. Крім того, пріоритети в розвитку технічної системи, спрямовані на вдосконалення виробництва корисної продукції, сприяли нерівномірному розвитку тих її частин, які відповідають за переробку відходів системи. Саме тому науково-технічний прогрес найчастіше пов'язаний із руйнуванням навколишнього середовища. Різка інтенсифікація виробництва, створення більш досконалих машин для переробки сировини практично не вплинули на розвиток технічної інфраструктури, пов'язаної з мінімізацією відходів. У порівнянні з сучасними методами виробництва енергії, видобутку, виплавки і переробки металів, створення принципово нових матеріалів, практично не змінилися технології уловлювання і нейтралізації шкідливих промислових газів і пилу, очищення технічної води, утилізації твердих побутових відходів, в тому числі нових матеріалів, для яких закінчився термін експлуатації, наприклад, таких як полімери.

Загальний висновок із цього наступний.

Беручи до уваги особливості розвитку техносфери і стан навколишнього середовища, необхідно визнати пріоритети в створенні технічних систем, спрямованих на пріоритетне забезпечення екологічних функцій над економічними. Однак, оскільки в сучасному суспільстві економічні пріоритети переважають над екологічними, слід:

– диверсифікувати економічну та екологічну ефективність технічних систем для суспільства. У цього завдання поки немає готового рішення, яке повинно існувати навіть не на державному, а на міждержавному рівні. Проте воно вважається вирішуваним за допомогою таких штучних функцій, як штрафні санкції, стимулювання виробництва екологічно чистої продукції економічними методами і т. д. Деякі з цих механізмів вже існують у розвинених країнах, але їх ефективність зростає багаторазово, якщо їх застосовувати систематично, в масштабах більшості держав;

– орієнтувати громадську думку в напрямку формування стійкого екологічного імперативу щодо впливу на суспільство, порівняного з економічним, незрівнянно вищим на цей час.

Розвиток бази відходів у технологічних процесах, що реалізуються в конкретних технічних системах, визначається:

– відсутністю в технічній системі мінімально необхідних частин, що дозволяють на якомусь етапі технологічного процесу перетворити компонент сировинної бази в потрібному руслі;

– відсутністю каналів для проходження енергії, необхідної для цілеспрямованої зміни властивостей компонентів сировинної бази;

– відсутністю каналів для проходження енергії між компонентами, що беруть участь у створенні бази відходів, і рештою системи, а також є джерелами незапланованих втрат енергії;

– статичністю функціональних та інших елементів технічної системи як передумови пасивації і відторгнення великої кількості компонентів сировинної бази і створення бази відходів;

– нерівномірністю розвитку окремих частин технічної системи і виникнення в них технічних протиріч;

– відсутністю m, l, E -ресурсів для розширення функціональності системи і підвищення ступеня її ідеальності;

– невідповідністю лінійних та інших параметрів компонентів сировини і виробничих баз у технічній системі;

– неузгодженістю хімічної та іншої енергетичної активності компонентів, задіяних у технологічному процесі;

– розвитком на макрорівні і відсутністю напрацювань, пов'язаних із переходом системи на мікрорівень;

– розгортанням технічної системи і неможливістю створення m, l, E -ресурсів для подальшого згорання підсистем і їх переходу до надсистеми.

Для забезпечення управління мінімізацією відходів у системах необхідно враховувати ці правила. Крім того, важливі наступні умови:

1. Узгодження (або вимушене неузгодження) дії параметрів основного енергетичного поля з власною частотою коливань компонентів продукту та/або елементів інструменту.

2. Узгодження (або вимушене неузгодження) власних частот приладу і виробу.

3. Використання ресурсних (дешевих) енергетичних полів у системі.

4. За можливості забезпечення наскрізного проходження енергії через всі компоненти сировинної бази і виключення незапрограмованих затримок в елементах системи.

11.10. Модель «інструмент–продукт» у процесах утворення відходів

Для отримання будь-якого продукту необхідно мати деякі інструменти для обробки сировини. Наприклад, для отримання виробів шляхом механічної обробки знадобиться інструмент, здатний відокремити від металевої заготовки стружку або непотрібну частину цієї заготовки (токарний верстат, напилок, ножівка, дріль, фреза). Для пластичної деформації металевого виробу необхідний інструмент, що змінює форму пластичної металевої заготовки. Це можуть бути валки прокатного стану, перфораційний прес, ковальський молоток, просто молоток. Багатокомпонентна сировина також може виступати в якості інструменту, компоненти якої тоді служать інструментами для необхідної переробки основної частини цієї ж сировини-продукту. Наприклад, фізико-хімічні реакції в сталевій ванні дозволяють використовувати шлакоутворюючі компоненти для рафінування рідкого металу і видалення окремих компонентів з металу в шлак (так званий шлаковий інструмент).

Інструментом може бути сокира, голка, лазерний промінь, теплове, електромагнітне або радіаційне поле, ємність для адіабатичного стиснення газів, бензиновий двигун і багато іншого, що дозволяє реалізувати певні технології.

Спосіб впливу інструменту на виріб у моделі регламентується набором сукупних законів, закономірностей, явищ, ефектів — фізичних, хімічних, геометричних, біологічних і т. д., які лежать в основі будь-якого технологічного процесу. Звичайно, такий вплив може бути як позитивним, тобто сприяти цілеспрямованій зміні стану компонентів вихідної сировини, так і негативним, що приводить до таких змін частини сировини, які роблять її відходом.

В якості продукту, який підлягає обробці в моделі, може виступати попередня заготовка, певний напівфабрикат, матеріал, що підходить за складом або

властивостями, речовина, в тому числі мінеральна сировина. Загалом, це саме те, з чого робляться корисні продукти.

І, як ми вже домовилися, є дзеркальний процес — це процес, у результаті якого отримуються відходи. Ця найважливіша складова будь-якого технологічного процесу також з'являється за допомогою інструменту. Того ж самого, за допомогою якого здійснюється виробництво корисних продуктів. Будь то різак або прокатний валок, енергетичне поле або хімічні добавки.

Крім того, будь-який вплив інструменту на вихідну (сировинну) заготовку, як і належить, викликає відповідну реакцію самої заготовки на інструмент. В результаті різці і свердла затупляються і ламаються, наждачний папір втрачає абразивні властивості, відпрацьований шлак видаляється з печі у відвали, пуансони зношуються і втрачають форму, перегорають трансформатори, розсіюються енергетичні поля. Найголовніша особливість таких руйнівних процесів полягає в тому, що весь цей інструмент, так чи інакше, стає післяексплуатаційним відходом. Тому можна впевнено сказати, що моделі типу «інструмент–продукт» завжди задіяні в процесах утворення відходів. Спробуємо з'ясувати ступінь цієї участі. Для цього скористаємося відомою класифікацією протиріч, що виникають у системі «інструмент–продукт», наведеній у роботі [6].

Розглянемо найбільш типові схеми таких взаємодій (див. рис. 11.11.) з точки зору їх участі в процесах утворення відходів.

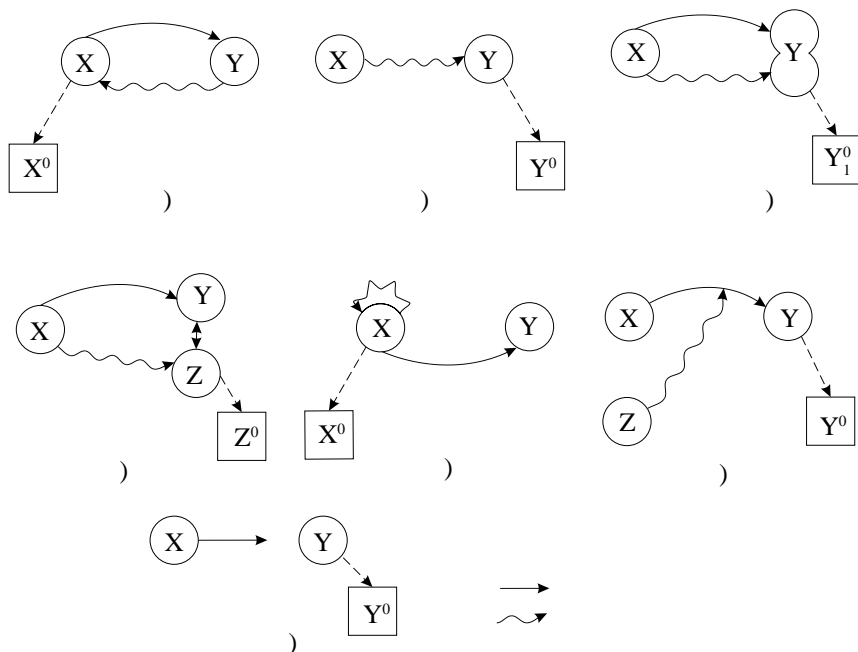


Рисунок 11.11 — Типові схеми взаємодії «інструмент–продукт» з позицій їх впливу на процеси утворення відходів

1. Вплив інструменту (X) на сировину (Y) вважається корисним, проте реакція сировини на інструмент постійно або на певних етапах технологічного процесу призводить до його руйнування, поломки, підвищеного зносу (див. рис. 11.11, а). В результаті інструмент отримує властивості післяексплуатаційного відходу (X^0). Прикладом може служити будь-яка технологія обробки деталей. Зокрема, добре відомо, що чим менша різниця твердості інструменту і продукту, тим швидше руйнується сам інструмент за рахунок реакції з боку оброблюваного продукту. Інше. Джерело напруги обертає ротор електричної машини, але пікові скачки струму призводять до перегріву обмоток двигуна, його поступового руйнування, виходу з ладу електродвигуна як інструменту.

2. Сприятливий вплив засобу (X) на сировину (Y) повторюється, але супроводжується й одночасним або розсіяним у часі сполученим негативним впливом того ж (X) на (Y) (див. рис. 11.11, б). В результаті, як правило, зіпсований продукт із цієї сировини потрапляє в категорію відходів (Y^0) виробничої діяльності. Наприклад, у результаті використання зношеного перфоратора вальцюваль-но-штампувального верстата або тихохідної фрези при обробці твердого матеріалу штамповані вироби або фрезеровані деталі можуть поповнювати склад бракованої продукції і мати властивості відходів. Та ж робота електродвигуна в нештатному режимі, наприклад, у пральних машинах, призводить до погіршення якості прання, зниження ефективності віджиму білизни та її сушіння.

3. Ще один вид сполученого корисного і шкідливого впливу інструменту на сировинну заготовку (див. рис. 11.11, в). Коли інструмент (X) благотворно впливає тільки на частину сировини (Y). Але в той же час відзначається його шкідливий вплив і на іншу частину цієї ж сировини (Y_1). В цьому випадку частина сировини виявляється ефективним продуктом, а друга частина йде у відходи у вигляді браку (Y_1^0). Наприклад, при виробництві насиченого сольового розчину завжди утворюється залишок нерозчиненої сольової суміші, яка випадає в осад (відходи). Це стосується і рівноважних реакцій із заданим складом вихідних компонентів. Ця ж модель взаємодії «інструмент–продукт» включає в себе помилки оператора при виконанні своїх функцій, у результаті яких частина виробу отримала відповідну обробку, а якась частина залишилася необробленою через людську помилку.

4. Запланований сприятливий вплив (X) на (Y) супроводжується одночасним шкідливим впливом того ж інструменту (X) на інший компонент (Z) виробничої системи (див. рис. 11.11, г). При цьому (Y) і (Z) є взаємодіючими компонентами цієї системи, але її друга частина втрачається у вигляді відходів (Z^0). Як приклад можна розглянути пічний простір плавильних печей (Z), знос яких у результаті впливу тієї ж теплової енергії (наприклад, у конвертері) або енергії електричної дуги (в дуговій електропечі), яка плавить метал (Y), постійно збільшується. Існує благотворний вплив теплового поля на розплавлений метал і шкідливий вплив цього ж поля на футеровку печі. Або інший приклад. Допоміжне і захисне

струмопровідне обладнання в електричних системах у разі короткого замикання руйнується, приймаючи на себе шкідливий вплив електричного поля, що в цілому виконує корисну роботу в електричній системі. У всіх випадках компонент (Z) набуває властивостей відходів у вигляді відпрацьованої цегляної кладки або обгорілих запобіжників (у прикладах).

5. Сприятливий вплив засобу (X) на сировину (Y) пов'язаний зі шкідливим впливом інструменту на нього самого. При електролітичних процесах інструментом є матеріал витратного електрода, який під впливом електричного струму переносить свої іони на другий електрод. В результаті інструмент зношується сам. Ще один природний приклад — будь-який вид ножиць, як самозаточувальна ріжуча система. При впливі на заготовку, що розрізається, лезо інструменту безперервно обточується, зношується заготовкою, приводячи його до повної витрати в кінцевому результаті. Витратні електроди для нанесення зварювального шва також є прикладом такої моделі (див. рис. 11.11, е).

6. Несумісність примусового впливу двох інструментів (X) і (Z) на основну сировину (див. рис. 11.11, е.). Наприклад, якщо один інструмент (X) використовується для обробки сировини, а інший (Z) одночасно для вимірювання або контролю правильності обробки сировини.

7. Корисний, але недостатній вплив інструменту (X) на сировину (Y). У той же час необроблена сировина, непрореагована частина шихти, недостатньо нагрітий метал заповнюють кількість відходів (Y^0) або дефектів на конкретному виробництві. Прикладами може служити будь-який випадок недотримання параметрів технологічного процесу: недостатньо добре нагріта ванна для плавлення металу; нестача або надлишок флюсів при зварюваних роботах; відхилення від проектних параметрів електромагнітного поля в електроенергетиці; падіння напруги в електричних мережах при високому навантаженні і т. д.

Зрозуміло, всі ці моделі повинні мати свої кількісні параметри. Наприклад, такі, що відображають відсоток сировини або інструментів, які втрачаються у вигляді відходів даного виробництва.

Загальний висновок, який випливає з цього обговорення, такий. *В результаті впровадження реальних технологій і «інструмент», і «продукт» беруть активну участь у процесах утворення відходів і самі стають частиною цього процесу, стають відходами ще в рамках виробничої системи.*

ГЛАВА 12

РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ЦИКЛІВ У РОЗУМІННІ МЕХАНІЗМІВ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ

-
-
- 12.1. Загальні свідомості про екологічні цикли
 - 12.2. Екологічні цикли і закони Коммонера
 - 12.3. Математичні моделі виробництва та матеріального обміну в екологічних циклах
 - 12.4. Екологічні цикли з позицій енергоентропійних систем
 - 12.5. Роль флуктуацій у стійкості екологічних циклів
-
-

12.1. Загальні свідомості про екологічні цикли

В господарських механізмах багатьох галузей промисловості на сьогоднішній день склався форсований режим експлуатації основних видів первинних природних ресурсів (мінеральних, земельних, водних, лісових та ін.). Головна особливість такої експлуатації полягає в тому, що темпи кількісного та якісного виснаження природних ресурсів перевищені в порівнянні з компенсаторними можливостями як економіки, так і самої природи.

Результатом такої діяльності є явне протиріччя між постійно зростаючими потребами людства в результатах реалізації нескінченної кількості штучних технологічних процесів і обмеженими утилізаційними можливостями як самої людини, так і природи. Це, в свою чергу, призвело до падіння ефективності роботи видобувних галузей, збільшення частки грошових ресурсів, спрямованих на компенсацію частки витрат на видобуток, для підтримки збалансованої економіки. Спостерігається уповільнення загальних темпів розвитку, стагнація галузевої структури, знижується ефективність усіх галузей економіки.

А. Б. Альохін в роботі [1] пропонує модель регіональної еколого-економічної системи, засновану на наступних основних структурах.

1. Ресурси системи, як обов'язковий її структурний елемент, описуються сукупністю станів $P(i, r_i)$, де i — назва ресурсу, r_i — величина i -го ресурсу, що визначається законом збереження (накопичення):

$$r(t) = r(t-1) + \Delta_1(t) - \Delta_2(t); \quad (12.1)$$

$$r(t) \geq 0; \Delta_2(t) \leq r(t-1) \forall t, \quad (12.2)$$

де Δ_1 і Δ_2 — відповідно, отримання і виведення ресурсу.

2. Системне середовище виступає носієм функцій перетворення ресурсів. Модель такого середовища

$$\langle i, S_i, f_i \rangle, \quad (12.3)$$

де S_i — функція стану середовища.

f_i — відображення, що характеризує закон функціонування i -го елемента середовища.

3. Функції трансформації ресурсів, стану середовища, комунікацій, суспільства є другим основним елементом моделі певної регіональної еколого-економічної системи. До нього відносяться виробничі процеси, процеси утилізації, життєзабезпечення людей, зміни розташування елементів системи і т. д. Модель такої функції

$$\varphi_i : R_i \times S_j \times P_i \rightarrow R_i^*, \quad (12.4)$$

де R_i і R_i^* — векторні простори вхідних ресурсів і продуцентів i -го процесу;

S_j — сукупність станів середовища j , в якому виконується функція i ;

P_i — сукупність параметрів, що характеризують зовнішній вплив на i -ту функцію.

4. Відносини (зв'язки за А. Б. Альохіним) являють собою ресурсні, інформаційні, часові і просторові потоки між функціями. Вони характеризуються інтенсивністю потоку. Модель відносин у системі може мати наступний вигляд:

$$\psi : X \{R_i, S_j\} \rightarrow Y \{R_i^*, S_j^*\}, \quad (12.5)$$

де $X \{R_i, S_j\}$ — початковий стан системи;

$Y \{R_i^*, S_j^*\}$ — новий стан системи, елементи якої були змінені в результаті реалізації ψ -відношення.

Основні набори даних про складові елементи такої моделі можуть бути представлені тільки у вигляді часових рядів, нестационарність яких очевидна. Наприклад, множинність S_j має характер трендів неперіодичної функції. Управління такими моделями, так само як і використання традиційних методів з метою прогнозних досліджень таких систем, як екологічні цикли, (виключаючи метод Бокса–Дженкінса [2]), дуже складне.

Природні екологічні цикли можна розглядати як форму існування матерії та енергії. Поняття екологічного циклу використовується в основному для опису динаміки природних процесів і в меншій мірі відноситься до штучних технологій. В рамках окремого замкнутого екологічного циклу з певною періодичністю, характерною для даного циклу, відбувається рух різних видів речовини й енергії, різноманітні перетворення їх станів, рівнів і якості. Форми існування речовини в рамках екологічного циклу знаходяться в повній відповідності з основними екологічними та балансовими законами. Основними елементами простого екологічного циклу можна вважати канали, по яких циркулює енергія та її похідні всередині циклу, і просторово-часові пояси (вузли) трансформації енергії і речовини відповідно до заданих траєкторій (рис. 12.1). Траєкторія трансформації означає сукупність природних та інших явищ, спрямованих на зміну властивостей речовини і енергії в рамках конкретного замкнутого циклу. Незамкнуті екологічні цикли можуть мати вигляд спіралі (рис. 12.2), крок якої визначає ступінь дисипації енергії або речовини.

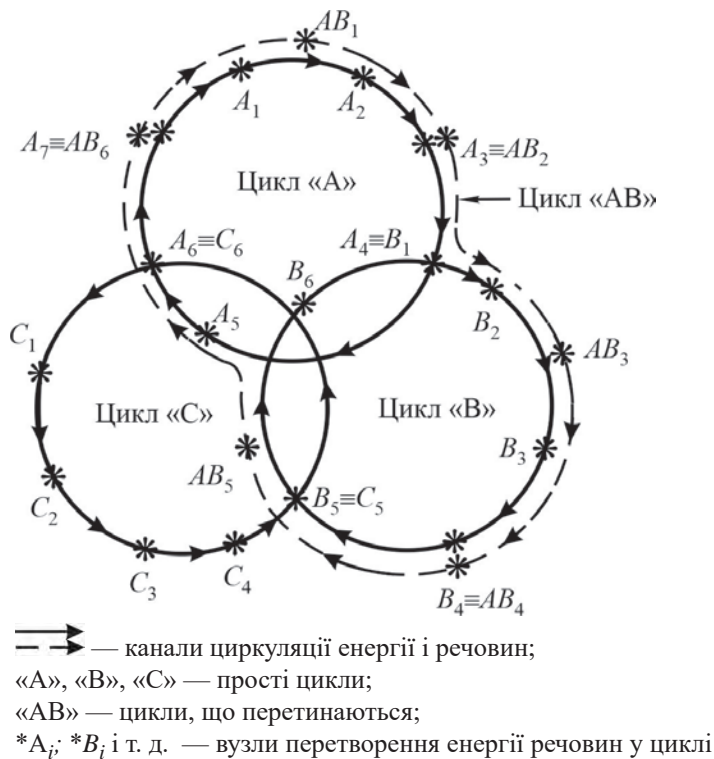


Рисунок 12.1 — Спрощена схема екологічних циклів

Важливою складовою траєкторій природних екологічних циклів можуть бути штучні технологічні процеси і відповідні технічні системи. Вони є ма-

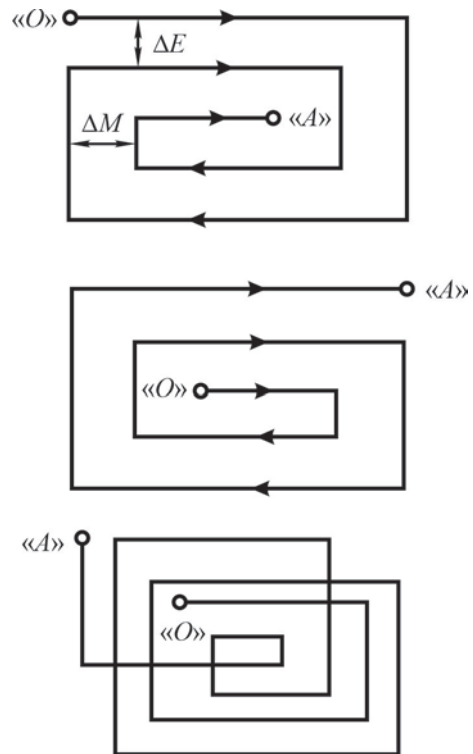
теріальним проявом участі людини в екологічних циклах. На сьогоднішній день людством створено понад 300 тисяч технологічних процесів (назвемо їх умовно штучними технологічними процесами). Природа також використовує в своїй творчій діяльності власні технології, наприклад, горіння, фотосинтез, розпад і т. д. (природні технологічні процеси). Як природні, так і штучні технології складають функціональну сутність будь-яких екологічних циклів.

Підкресленими особливостями природних технологічних процесів є: здатність до самоускладнення і самооновлення, зростання, розвитку; стійкість до зовнішніх збурень; узгодженість із надсистемою, якою є природне середовище. Це так, на відміну від штучних технологій, які функціонують тільки в певному вузькому діапазоні параметрів і залежать навіть від невеликих відхилень і помилок у системі, які мають відносно низький рівень організації.

В історичному аспекті будь-який технологічний процес розвивався в напрямку удосконалення, поліпшення якості і зниження собівартості корисної продукції. При цьому кількісна та якісна сторона відходів практично не враховувалася. Обов'язки щодо утилізації таких відходів були покладені на природу, ресурси використання якої, як виявилось, явно не безмежні.

За даними В. А. Ковди (1973), людина, як виробник відходів, більш ніж в 1000 разів випереджає природу. Але навіть таке значне кількісне співвідношення не можна порівняти з якісними особливостями впливу відходів життєдіяльності людини на екосферу.

В економічних системах на цей час спостерігається форсований режим експлуатації основних видів первинних природних ресурсів (мінеральних, земельних, водних, лісових та ін.). Головна особливість — перевищення темпів кількісного та якісного виснаження природних ресурсів у порівнянні з компенсаторними можливостями як людської економіки, так і самої природи.



а) з внутрішнім кроком; б) із зовнішнім кроком; в) з кроком, що перетинається

Рисунок 12.2 — Варіанти спіральних екологічних циклів

Результатом такої діяльності є явне протиріччя між постійно зростаючими потребами людства в результатах здійснення нескінченної кількості штучних технологічних процесів і обмеженими можливостями використання природи. Це, в свою чергу, призвело до падіння ефективності роботи видобувних галузей, збільшення частки грошових ресурсів, спрямованих на ці галузі для підтримки збалансованої економіки, що уповільнює загальні темпи розвитку, призводить до стагнації галузевої структури, знижує ефективність роботи всіх галузей господарювання.

У зв'язку з цим не зайвим буде відзначити наступні відмінні властивості природних і штучних технологічних процесів.

1. Різниця у синхронізації темпів виробництва основної продукції та утилізації відходів.

Для природного технологічного процесу темпи виробництва і утилізації сумісні за часом. Для штучного технологічного процесу темп виробничих процесів значно перевищує темпи процесів утилізації. Саме цій властивості ми зобов'язані накопиченню неперероблених відходів, утворенню звалищ і накопичень.

2. Універсальність виробництва в природному технологічному процесі і спеціалізація виробництва в штучному технологічному процесі.

Ця властивість полягає в тому, що результатом конкретного природного технологічного процесу є велика множинність натуральних продуктів, а результатом впровадження штучної технології є, як правило, номенклатура з однієї-двох одиниць продукції.

3. Принцип відповідності.

Для кожної речовини, що виникла природним шляхом, природа створює свій механізм переробки або фермент, здатний розкласти цю речовину. Створюючи нові корисні матеріали, людина, як правило, не обтяжує себе створенням методів або відповідних ферментів для розкладання цих матеріалів після закінчення терміну їх служби, не кажучи вже про утилізацію відходів цих виробництв.

Рух речовин і енергії в рівноважних замкнутих екологічних циклах можна охарактеризувати умовами рівномірності, *безперервності* і *стійкості*. Завдяки цим властивостям циклів у природних екосистемах не відбувається утворення і накопичення непотрібних матеріалів і енергії.

Умовою *рівномірності* руху речовин і енергії в замкнутих циклах є постійність обсягів накопичення енергії або речовини на будь-якому розрізі ділянки каналу. Ця умова випливає із законів збереження енергії і речовин і тому не потребує доведення.

Умова *безперервності* екологічного циклу заснована на синхронізації темпів виробництва і процесів утилізації відходів.

Нехай E — деяке накопичення енергії або речовини, що проходить через ділянку $X-X$ замкнутого екологічного циклу в одиницю часу τ — безперервна функція (рис. 12.3).

Інтенсивність накопичення залежить від збільшення абсолютної кількості речовини або енергії в розрізі $(X - dx) - R(E, \tau)$ і зменшення їх абсолютної кількості в розрізі $(X - dx) - L(E, \tau)$, тобто

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = R(E, \tau) - L(E, \tau). \quad (12.6)$$

Зміна абсолютної кількості в залежності від ймовірності збільшення одиниці накопичення (i) або ймовірності зменшення цього накопичення (j) можна визначити як

$$R(E, \tau) = iE(\tau), \quad (12.7)$$

$$L(E, \tau) = jE(\tau) \quad (12.8)$$

відповідно. Тоді

$$\frac{dE}{d\tau} = iE - jE = uE. \quad (12.9)$$

Якщо накопичення речовин у циклі є дискретною функцією, то рівняння (12.9) має вигляд:

$$E(\tau + \Delta\tau) - E(\tau) = i\Delta\tau E(\tau) - j\Delta\tau E(\tau), \quad (12.10)$$

де: $\Delta\tau \rightarrow 0$ — часовий інтервал дискретної функції.

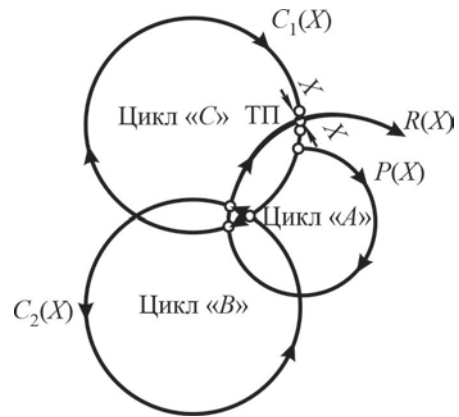
Рішення рівняння (12.9), якщо i та j не є функцією часу $\tau = const$, має наступний вигляд:

$$E = E(0)\exp(u(\tau)). \quad (12.11)$$

В іншому випадку рішення буде

$$E = E(0)\exp\left[\int_0^t u(\tau)d\tau\right]. \quad (12.12)$$

Умовою безперервності екологічного циклу в розрізі $X-X$ є $u = 0$, тобто коли ймовірність збільшення накопичення в околі ділянки $dx \Rightarrow 0$ адекватна ймовірності його зменшення в цьому ж околі ($i = j$).



$C(X)$ — сировинна база ТП;
 $P(X)$ — продукційна база ТП;
 $R(X)$ — база відходів ТП

Рисунок 12.3 — Розрив рівноважного екологічного циклу «А» в розрізі $X-X$ штучним технологічним процесом (ТП)

Якщо $u \neq 0$, то це вказує на розрив циклу ($i < j$) в розрізі $X-X$ (наприклад, впровадження штучної технології в замкнутий цикл) і концентрацію потоку речовини, енергії або інформації поза циклом ($i > j$) в місці розриву. Останнє є не чим іншим, як антропогенним фактором, що впливає на навколишнє середовище.

Припустимо, що збільшення накопичення речовини в розрізі $X-X$ обмежене значеннями $i(E)$ та $j(E)$, такими, що $u > 0$. Припустимо, наприклад, що зі збільшенням E в розрізі $X-X$ зростання накопичення E зменшується, а його зменшення збільшується. Тобто.

$$i = i_0 - i_1 E; j = j_0 + j_1 E; \quad (12.13)$$

де $i_0 > 0; j_0 > 0; i_1 > 0; j_1 > 0$;

Підставляючи в рівняння (12.9), отримуємо

$$\frac{dE}{d\tau} = [k_0 - k_1 E] E, \quad (12.14)$$

де $k_0 = i_0 - j_0; k_1 = i_1 - j_1$.

У тому випадку, якщо в розрізі $X-X$ приріст накопичення збільшується, а його зменшення падає, тобто, $i = i_0 - i_1 E, j = j_0 + j_1 E$, рівняння (12.14) має вигляд

$$\frac{dE}{d\tau} = (k_0 + k_1 E) E, \quad (12.15)$$

де $k_0 = i_0 - j_0; k_1 = i_1 - j_1$.

Рішення системи рівнянь (12.14) і (12.15) має вигляд:

$$E(\tau) = (k_0 / k_1) / \{ q + \exp[-k_0(\tau + E_0)] \}, \quad (12.16)$$

де: $q = +1$ для рівняння (12.14);

$q = -1$ для рівняння (12.15).

Розглянемо рівняння (12.16):

– якщо $k_0 < 0$, то $E(\tau)$ зменшується зі значення E_0 до 0. Відбувається виснаження ресурсів у відкритому ($u \neq 0$) екологічному циклі;

– якщо $0 < k_0 < k_1 E_0$, то зменшення $E(\tau)$ залежить від деякої межі, визначеної відношенням k_0 / k_1 , а для $k_0 > k_1 E_0$ збільшення $E(\tau)$ визначається цією межею. В обох випадках система має певний ресурс, до якого прямує накопичення $E(\tau)$ у певному заданому інтервалі часу.

Оскільки мова тут йде про відкритий цикл, то даний ресурс випадає з циклічного каналу і в подальшому не бере участі в природних траєкторіях перетворення речовин у рамках рівноважного циклу, не має ферменту для утилізації або іншого механізму подальшого перетворення поза циклом (у зоні розриву по розрізу $X-X$), і, таким чином, його накопичення в цій точці циклу є не що інше, як утворення відходів та забруднення навколишнього середовища.

Розрив циклу найчастіше пояснюється різкою різницею темпів штучного технологічного процесу (перетворення речовини в наступний корисний стан), що вклинюється в рівноважний екологічний цикл, і процесу утилізації речовин або їх елементів у майбутньому.

У зв'язку з цим істотне значення має поки недосяжна в реальності ідея закритих штучних технологічних процесів.

Протягом багатьох тисячоліть (приблизно до неоліту) людина, як і інші біологічні види, практично повністю вписувалася в природні екологічні цикли, не порушуючи їх рівноваги, за винятком, можливо, деякого виснаження земель при землекористуванні і скотарстві. Але навіть ці порушення носили локальний характер і повністю компенсувалися в рамках більш великих у просторово-часовому плані природних екологічних циклів. Іншими словами, траєкторії штучних технологій — у даному випадку скотарства і землеробства — можна вважати замкнутими через зворотні зв'язки в надсистемі у вигляді природних ферментів утилізації і механізмів природної рекультивациі земель.

Третьою умовою руху речовини і енергії в рівноважних замкнутих екологічних циклах є *стійкість*.

Розглянемо узагальнену схему моделі взаємодії накопичення (E) та утилізації (U) енергії або речовин у розрізі $X-X$ за умови, що в рамках замкнутого циклу виробництво не може існувати без споживання й утилізації, і навпаки, споживання можливе тільки при зростанні накопичення:

– при відсутності споживання й утилізації (U) у розрізі $X-X$ відбувається безперервне збільшення *накопичення* (E) зі швидкістю, пропорційною його кількості. Іншими словами, в замкнутому циклі, при відсутності споживання, накопичення не знаходить шляхів до реалізації і збільшується;

– при відсутності накопичення (E) у розрізі $X-X$ замкнутого циклу відбувається безперервне зменшення кількості продукції. Тобто механізм переробки в замкнутому циклі в цьому випадку не має матеріального або енергетичного запасу і виснажується;

– при одночасній присутності накопичення (E) і переробки (U) *кількість* (U) має тенденцію безперервно збільшуватися, а *кількість* (E) має тенденцію до зменшення. Така поведінка складових визначається тим, що перший член розкладання на ряд функцій, що описують взаємодію між (E) і (U), пропорційний множенню EU , і якщо $E = 0$ або $U = 0$, то взаємодії між ними немає.

Математична модель такої взаємодії між накопиченням і використанням у замкнутому рівноважному циклі може бути описана наступними рівняннями:

$$\frac{dE}{dt} = a_1 E - a_2 EU; \quad (12.17)$$

$$\frac{dE}{d\tau} = -a_3 U - a_4 EU, \quad (12.18)$$

де $a_1 = const$.

Для рівноважного стану в розрізі $X-X$ замкнутого циклу маємо $U(0) = a_1/a_2$, $E_0 = a_3/a_4$ як базові значення величин. При нерівноважних відхиленнях у замкнутому циклі математична модель приймає вигляд нелінійних рівнянь із роздільними змінними

$$\frac{de}{d\tau} = -a_3 e(1-u); \quad (12.19)$$

$$\frac{du}{d\tau} = a_1 u(1-e), \quad (12.20)$$

де $e = E/E_0$; $u = U/U_0$.

Рішення рівнянь (12.19) і (12.20) представляється таким чином:

$$\frac{de}{du} = -\frac{a_3 e(1-u)}{a_1 u(1-e)}; \quad (12.21)$$

$$a_1 [\ln(a) - a] + a_3 [\ln(u) - u] = W(T). \quad (12.22)$$

де $W(T)$ — константа інтегрування, що визначається розміром циклічного періоду (T).

Рівняння (12.22) у керуючих координатах (e , u) описує стійкий замкнутий цикл зміни величини накопичення й утилізації речовини або енергії в певній системі. Згодом координати (e) і (u) змінюються циклічно, але, завдяки безперервній взаємодії, змінні (e) і (u) в розрізі $X-X$ ніколи не досягають точок рівноважних значень, наприклад, (див. рис. 12.3).

Покажемо, що будь-які невеликі збурення в такому замкнутому циклі не призводять до втрати його стійкості. Введемо в систему наступні невеликі збурення:

$$e = 1 + c f(\tau), \quad u = 1 + cg(\tau), \quad c \ll 1 \quad (12.23)$$

і підставимо в (12.19) і (12.21). Отримаємо

$$df(\tau)/d\tau = a_3 g(\tau); \quad (12.24)$$

$$dg(\tau)/d\tau = -a_1 f(\tau). \quad (12.25)$$

Рішення рівнянь має вигляд:

$$a_1 = Q \cos[(a_1 a_3)^{1/2}](\tau) + P \sin[(a_1 a_3)^{1/2}](\tau), \quad (12.26)$$

де $Q = \text{const}$ и $P = \text{const}$, в залежності від механізмів перетворення речовин або енергії в циклі.

Тобто невеликі збурення призводять до утворення коливань, зокрема, з незростаючою амплітудою. Тому замкнута циклічна система стійка по відношенню до свого рівноважного стану.

Такий стан стійкості важливий для розуміння ролі штучних технологій в екологічних циклах. Показано, що однією з найважливіших властивостей штучних технологій, які роблять їх несумісними в рамках рівноважних циклів, є невідповідність між темпами виробництва й утилізації речовин і енергії. Згідно з цією умовою, штучна технологія сприяє різкому і нескінченному збільшенню періоду циклу (T). При цьому функція $W(T)$ буде нескінченно збільшуватися, а значить, рівняння (12.22) не має рішення. Тобто екологічний цикл, в якому присутня штучна технологія, априорі вважається нестійким.

Таким чином, розуміння закономірностей існування і розвитку екологічних циклів та умов існування в них штучних технологій дозволяє вивчити природу і механізм виникнення антропогенних впливів, наприклад, у розвинених урбосистемах, де штучні технології складають сутність життя людини, а також і роль самої людини в цих процесах.

* * *

Такі міркування у граничних значеннях можна віднести до штучних технологій у рамках існуючих матеріальних потоків, якщо поставити умову досяжності їх замкнутості в циклі. Дотримання умов безперервності, стійкості і рівномірності матеріальних потоків у рамках існуючих екологічних циклів могло б служити гарантією створення замкнутих технологічних процесів і безвідходних технологій.

Розвиток виробничої діяльності, пов'язаної з постійно зростаючими потребами людей, включає в екологічні цикли все більшу кількість відкритих технологій, ступінь відкритості яких визначається співвідношенням

$$\frac{V_a}{V_n} \Rightarrow \min, \quad (12.27)$$

де V_n — швидкість природної утилізації речовин, задіяних у штучному технологічному процесі;

V_a — темп штучного технологічного процесу.

Чим вищий коефіцієнт (12.27), тим більше слід говорити про відкритість технологічного процесу. У свою чергу, це співвідношення, мабуть, побічно характеризує розрив певного екологічного циклу і визначає накопичення і розсіювання енергії або речовин поза циклом у місці розриву. Умовно можна уявити, що на місці виникнення розриву екологічного циклу повинна бути штучна

технологія з високим значенням $\frac{V_a}{V_n}$ (див. рис. 12.3), результатом якої є гілка

частини речовини або енергія $R(x)$, яка в подальшому не бере участі в екологічному циклі. Ця частина $R(x)$ є забруднюючим відходом.

Таким чином, відходи можна розглядати як ту частину енергії або речовини, що не відновлюється і циркулює по каналах екологічного циклу, випадаючи з нього в результаті розриву цього циклу.

Другим фактором, що визначає незамкнутість штучних технологій, є бажання використовувати в них невідновлювані ресурси природи. Переважна більшість сучасних штучних технологій використовує в якості сировинної бази невідновлювані мінеральні ресурси Землі або їх похідні. Якщо врахувати той факт, що в існуючу геологічну епоху практично відсутні миттєві природні процеси формування і накопичення нових корисних копалин, що порівняні з тривалістю життя людини, а також те, що штучні технологічні траєкторії повинні мати відкритий канал для потоку вихідної сировини і енергії, то стає зрозумілим, що такі технології не можуть бути самостійно замкнутими і не можуть включатися до замкнутих екологічних циклів, що пов'язані з оновленням корисних копалин. І в даному випадку причина полягає в значній розбіжності в темпах штучних і природних технологічних процесів.

Сучасні штучні технології, які ми приймаємо як реальну й об'єктивну даність, є сполучною ланкою між економічними та екологічними пріоритетами в суспільстві. Саме штучна технологічна структура містить в собі основне соціально-технічне протиріччя між прибутком і збитком, між економічним добробутом і екологічним благополуччям. Вирішення цього протиріччя, мабуть, необхідно шукати в напрямку вибору компромісу між прагненням до отримання максимального прибутку за рахунок ефективних технологій і мінімізацією антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Умовами існування такого компромісу повинна бути взаємна вигода й ефективність прийнятих рішень для всіх суб'єктів компромісу.

12.2. Екологічні цикли і закони Коммонера

Екологічна система, невід'ємною частиною якої є людина, являє собою велику, складну систему, складові якої знаходяться в багатофакторному поліциклічному взаємозв'язку, обумовленому, перш за все, законами природного відбору. Причому кожен елемент цієї складової бере участь далеко не в одному циклі, а кількість циклів, в яких бере участь елемент, характеризує його цінність для системи або окремих її елементів.

Раніше було показано, що цикли екосистеми є умовними каналами, по яких рухається енергія, речовина, інформація, зазнаючи при цьому зміни і перетворення в рамках природного відбору та інших законів природи, що дозволяє їм зберігати приналежність до цих природних циклів і не виходити за межі каналів циркуляції. Виходячи з логіки, ми домовляємось, що існування речовини поза екологічним циклом суперечить природному стану речей і призводить до збільшення екзогенного навантаження на екосистему. Включення штучних технологічних процесів переробки і перетворення речовини в рівноважні цикли найчастіше призводить до їх переривання і накопичення енергії або речовин у місці розриву, тобто до утворення бази забруднювачів навколишнього середовища. Ця частина речовин штучно видаляється з екологічних циклів, характеризується істотно іншими властивостями щодо своїх аналогів у замкнутих циклах і тому утворює область зовнішнього порушення екосистеми, іншими словами, утворює забруднення навколишнього середовища.

В першу чергу це стосується неживої природи, пов'язаної зі споживанням похідних корисних копалин. Однак ці проблеми в останні роки стали актуальними і для дикої природи. Це пов'язано з виробництвом органічних речовин, штучних білків, розвитком генної інженерії та ін.

Закономірності розвитку екосистем засновані на загальних законах збереження матерії, але їх трактування стосовно вивчення природних процесів дозволяє інакше поглянути на співвідношення людини і природи, на сутність штучних технологій, механізм утворення і природу існування промислових відходів. Як і будь-яка інша наука, екологія прагне представити закономірності предмета дослідження і вивчення на основі об'єктивних закономірностей розвитку. І в зв'язку з цим заслуговує на увагу спроба Б. Коммонера систематизувати ці закони, дати їм реальну оцінку [3]. Крім чисто утилітарного, ці роботи носять ще й строго теоретичний характер, необхідний для розуміння і розвитку методології вивчення поведінки речовин в екосистемах. Зокрема, при застосуванні до природи утворення відходів, тобто до предмету наших досліджень.

Давайте розглянемо ці закони. До них відносяться:

1. Закон універсальної взаємозалежності.
2. Закон збереження речовини та енергії.
3. Закон екологічної сумісності.
4. Закон ресурсної цінності.

1. Закон УНІВЕРСАЛЬНОЇ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНОСТІ.

Екологічна система включає в себе безліч підсистем, окремих елементів, що взаємодіють один з одним у рамках замкнутих рівноважних екологічних циклів.

Між окремими елементами і частинами екосистеми існують стійкі мережі взаємодії і взаємозалежності, що визначають стан цієї системи.

Характер взаємодії визначається наявністю зворотного зв'язку в сторону стабілізації (негативний зворотний зв'язок) або розвитку (позитивний зворотний зв'язок) системи. Прикладами такої взаємодії можуть бути періодичні флуктуації чисельності популяцій, енергетичні баланси в атмосфері і океані, динаміка розвитку видів, в тому числі і людини, а також щодо розуміння питань, які піднімаються в даній роботі, — рівноважні цикли вуглецю, азоту, сірки та інших речовин у природі та у виробничих системах.

Особливості, глибина і потужність взаємозв'язків між складовими екосистеми визначають величину навантаження від конкретного виду відходів, яку може витримати система. Чим більш розвинені і тісні ці з'єднання, тим більше зовнішнє навантаження здатна витримати система. Умовний ліміт міцності системи на розрив обмежений характером цих зв'язків і в разі їх порушення призводить до розриву рівноважного екологічного циклу і накопичення в місці розриву надлишкових речовин і енергії, що циркулюють у циклі і в даному випадку випадають з нього, представляючи собою не що інше, як забруднення навколишнього середовища.

Закон представляє інтерес з точки зору розуміння циклічних процесів у природі і причин появи відходоутворюючих речовин поза екологічними циклами. Цікавою є:

- роль штучних технологічних процесів як переривачів цих циклів;
- порівняння властивостей природних і штучних технологій по відношенню до замкнутого кругообігу і руху речовин і енергії через нього;
- роль зворотного зв'язку в екосистемах.

2. Закон **ЗБЕРЕЖЕННЯ РЕЧОВИН І ЕНЕРГІЇ** щодо екосистем можна сформулювати наступним чином.

Будь-які зміни стану речовини або енергії в екосистемі, в силу об'єктивних законів природи, здійснюються в рамках замкнутих рівноважних циклів.

Закон, по суті, є основою існування глобальних замкнутих екологічних циклів.

У природі не існує такого поняття, як «сміття». Продукт природного перетворення в екосистемі має набір певних властивостей, які роблять його корисним і придатним у системі, або в циклі присутній фермент, здатний змінити властивості цієї речовини до стану, придатного для використання в наступних ланцюгах рівноважного циклу, в якому знаходиться цей продукт.

В інтерпретації Б. Коммонера цей закон сформулюється так: «все повинно кудись діватися».

Цей закон представляє інтерес з точки зору вивчення траєкторій послідовних перетворень речовин і енергії в циклах екосистеми з метою виявлення закономірностей, згідно з якими речовина випадає з циклу, не знаходить застосування в циклі, не знаходить відповідного ферменту, здатного змінювати її властивості, і набуває властивості втрати, або відходу.

Приклад. Ртутні лампи викидають після експлуатації, виносять у контейнері на сміттєспалювальну станцію, спалюють. Пари ртуті (токсичні) через атмосферу потрапляють в ґрунт (поглинаються рослинами), водойми, де конденсуються на дно, переробляються мікроорганізмами в метильовану ртуть, з можливістю розчинення у воді, поглинаються рибами або рослинами, накопичуються в них і переходять в організм людини разом зі з'їденою рибою і т. д. Жодна з частин цієї екосистеми в природних умовах не потребує ртуті і не має ферменту для її засвоєння. І якби не штучна технологія виробництва ртутних ламп, поява ртуті в цьому екологічному циклі була б неможливою.

3. Закон ЕКОЛОГІЧНОЇ СУМІСНОСТІ.

Будь-які антропогенні зміни екосистеми є причиною переривання екологічних циклів.

Ця закономірність не є межею існування екосистеми або «крайньої точки зору», як стверджує Б. Коммонер, коментуючи цей закон. Закон однозначно об'єктивний, динамічний, але його дія повинна бути порівнянна з силою антропогенного впливу на екологічні цикли.

Б. Коммонер використав хорошу метафору для інтерпретації цього закону: «природа знає краще».

Об'єктивною основою цього закону є нескінченний масив емпіричних даних відбору, що використовуються природою для оптимізації компонентів і частин екосистеми.

Мільйони років природного відбору дозволили виключити з екологічних циклів тупикові технології, речовини, які не вписуються і випадають із ретельно відшліфованих природою екологічних циклів. У цих умовах штучні технології, створені людиною, далекі від оптимальних у плані інтеграції в природні цикли і найчастіше грають роль переривачів циклу і акумуляторів енергії і речовин (частіше за все, це забруднювачі) поза циклом, в зоні переривання. Аргументи на користь перетворюючої і творчої діяльності людини як доказ того, що в цілому її вплив на навколишнє середовище однозначно позитивний, можуть прийматися умовно тільки в тому випадку, якщо ця діяльність здійснюється в рамках природних екологічних або подібних до них штучних, але замкнутих циклів.

В цьому випадку виникає закономірне питання: чи можуть існувати штучні замкнуті технологічні цикли? Чи не є це утопією хоча б тому, що підозріло непорівнянними є терміни і досвід створення і випробування технологій обробки матеріалів людиною і природою, темпи обробки і деякі інші відмінності, що вказані вище?

Людина здатна швидко змінювати форму і структуру своєї взаємодії з навколишнім середовищем, постійно розширюючи спектр одностороннього впливу на навколишнє середовище, постійно залучаючи в сферу своєї діяльності нові

елементи екосистеми. Це ставить її в особливе становище по відношенню до інших елементів системи і, за словами доктора Дж. Френсіса (Канада), робить головним відповідальним елементом за стан екосистеми.

Найбільш наочним прикладом, що ілюструє цей закон, є зіставлення нескінченної безлічі можливих варіантів структур білкових молекул, що можуть бути принципово здійсненими. І та їх обмежена кількість, яка існує в природі, може засвоюватися в ній, не порушуючи балансу біологічних циклів. Очевидно, що на деяких етапах еволюції природа перепробувала інші варіанти аналогічних білкових сполук, але відкинула їх як такі, що не відповідають правилам природних циклів. З цієї ж причини жива речовина практично не має в своїх структурах пов'язаних атомів кисню і азоту, які в такому стані мають токсичні властивості і сприяють розпаду біологічних циклів. Інший приклад: живі клітини здатні синтезувати жирні кислоти тільки з парним числом атомів вуглецю в вуглецевих ланцюгах, але ніяк не з непарним. Недарма мудра Природа «знає краще».

Майже кожна з величезної кількості штучних речовин, відсутніх у природі без участі людини, існує поза біологічними та іншими природними циклами. Тільки на цій підставі можна зробити висновок, що мільйони і мільйони тонн таких речовин, вироблених колись людиною і постійно розсіяних у природі, є на сьогоднішній день найпотужнішим фактором, здатним вивести глобальну екосистему зі стану динамічної рівноваги і зробити процес руйнування екосистеми незворотнім.

Нам все одно доведеться пояснити собі місце і роль людини в природі, адже, незважаючи на таке, здавалося б, «не вписування» в природні екологічні цикли, її існування всередині глобальної екосистеми з усім антропогенним втручанням має бути даною реальністю і підкорятися об'єктивним законам природи.

Однак в якій інтерпретації? Звичайно, не в бік зупинки промислового розвитку. Ці процеси на Землі незворотні. Тим не менш...

Третій закон екології — це закон «*вето*» на неекологічні технології, розроблені людиною. Він дозволяє сформулювати ряд вимог, які повинні пред'являтися до будь-якого технологічного процесу з точки зору його сумісності з природою, зокрема:

— будь-який технологічний процес повинен складати з іншими технологічними процесами сферу споживання і вибуття, як найбільш повний замкнутий рівноважний цикл, в межах якого речовини й енергія повинні циркулювати, за можливості, не виходячи поза цей цикл;

— зміни властивостей і будь-які інші перетворення речовин і енергії в рамках штучних технологічних процесів повинні бути близькі до траєкторій їх природного перетворення у відповідному екологічному циклі;

— створення штучного технологічного процесу отримання нових матеріалів повинно поєднуватися з обов'язковою розробкою відповідного «утилізаційного ферменту» для засвоєння цього матеріалу в його післяексплуатаційній формі.

4. Закон РЕСУРСНОЇ ЦІННОСТІ.

Місце будь-якої речовини в ієрархії екосистеми визначається її значенням для системи.

Тобто кожна річ чогось варта, має свою цінність. Глобальна екосистема — це єдиний механізм, всередині якого циркулюють, переживають різні перетворення, але нікуди не зникають всі речовини й енергія.

Цей закон змушує по-іншому розглядати та оцінювати ресурсовидобувну діяльність людини. Розпечатування земних комор, виділення і розсіювання колись компактно сконцентрованих ресурсів і енергії на землі — процес *незворотний, але не нескінченний*. Ці дві особливості явно свідчать про існування певної межі споживання ресурсів, яка настане не в результаті виснаження ресурсів, а набагато раніше, внаслідок їх перерозподілу і концентрації на поверхні землі, біосфера якої не пристосована для такого співіснування.

Існує тісна залежність між наявністю ресурсу і ступенем його розсіювання і накопичення на землі у вигляді антропогенного фактору. Критерієм близькості такого зв'язку є цінність матеріалу і виробів, виготовлених із нього. Чим більша цінність речовини, тим вище споживчий попит на неї, тим менше воно схильне до післяексплуатаційного розсіювання і тим більше вона схильна до концентрації через механізми утилізації. Прикладом може служити видобуток, обробка і втрати заліза, алюмінію, міді, цинку, з одного боку, і золота, платини, з іншого. Тобто інтенсивне розпорошення більшості корисних копалин у період після експлуатації і пов'язані з цим безповоротні втрати не є об'єктивною неминучістю, а відображають дію реальних економічних законів, які закономірно регулюють споживчу вартість даного ресурсу.

Надаймо такий наслідок: *чим вищий прибуток, отриманий у результаті експлуатації технічної системи, тим нижча її екологічність*.

Механізм цієї умови проявляється двояко. По-перше, інтенсифікація використання сировинної та технічної бази системи сприяє безумовному отриманню високих прибутків при збільшенні забруднення екосистеми за рахунок використання виснаженої сировини, руйнування родючого шару землі, збільшення викидів в атмосферу і воду за рахунок більшої кількості компонентів сировинної бази, відбракованих технологічним процесом. По-друге, післяексплуатаційні витрати все більш зростаючої кількості предметів виробництва з високопродуктивних технічних систем і труднощі з їх утилізацією сприяють збільшенню антропогенного навантаження на екосистему. Прикладом тому може служити розвиток такої економічно вигідної галузі, як виробництво одноразової тари і упакування.

* * *

Основний висновок, який випливає з ретельного аналізу чотирьох законів екології Б. Коммонера, зводиться до необхідності переходу системи «люди-

на – екосистема» до умови динамічної рівноважності, яка представляється не як фіксований стан (що саме по собі неможливо в природі), а як синхронізація і взаємне коригування екосистеми і людини як складової цієї системи, в процесі їх спільного розвитку. Цей виділений елемент — людина — в системі має обмежувальні властивості, що обмежують її розвиток у цілому. Механізм вивчення динаміки системи за обмежувальною ознакою одного з елементів, відомий з теорії управління щодо застосування до великих систем, таких як екологічні, є предметом подальшого серйозного аналізу.

12.3. Математичні моделі виробництва та матеріального обміну в екологічних циклах

Для опису екологічних циклів зручно використовувати методологію теорії графів. Наприклад, узагальнену структуру екологічного циклу, що включає штучні технології виробництва і переробки речовин (див. рис. 12.3), легко представити у вигляді математичної моделі, елементами якої є структурний $S(S^0, S^1)$ і функціональний $F(F_{\Delta x}^0, F^1)$ графи, такі, що спостерігаються відносини

$$\varphi: \{S_i\} \rightarrow \{S_i^*\} \quad (12.28)$$

та

$$\psi: \{F_j\} \rightarrow \{F_j^*\}, \quad (12.29)$$

для яких $S_i^0 \in F_{\Delta x}^0$, а $S^1 \equiv F^1$.

Тут S^0 — вершини структурного графа, які є станом елементної бази циклу;

S^1 — сукупність просторових і часових характеристик, що визначають цілісність екологічного циклу (траєкторію циклу);

$F_{\Delta x}^0$ — вершини функціонального графа, що включають, крім елементної бази екологічного циклу, сукупність штучних технічних систем і технологій, за допомогою яких змінюється стан компонентної бази матеріалів;

F^1 — сукупність функцій, в результаті виконання яких змінюється стан елементної бази (вузлів) екологічного циклу;

S_i^* і F_j^* — відповідно наступний і результуючий стани елементів циклу.

Модель екологічного циклу з включеними в нього вузлами перетворення матеріальних потоків являє собою рівноважну систему, засновану, наприклад, на балансах речовин і енергії, на рівності вхідних і вихідних потоків і т. д. Тут вони тісно пов'язані з моделями економічної рівноважності [4, 5, 6], зокрема

з класичною моделлю рівноважного відтворення [7]. Такі моделі базуються на існуванні декількох виробництв, між якими відбувається обмін ресурсами різного типу. Оскільки нас цікавлять матеріальні потоки утворення відходів, які мають місце в процесі виробничої діяльності, спробуємо сформулювати основні умови для таких моделей.

Спочатку припустимо, що існує ряд учасників виробничої діяльності, включаючи основних виробників, різнономенклатурні виробництва, допоміжні та забезпечувальні галузі, які спрямовані на обслуговування основної, а також інші галузі, функціонально не пов'язані з основними.

Друга умова — синхронність змін у структурах сировинної бази цих виробництв. Будемо вважати, що в складі сировини кожної з перерахованих вище галузей є сировина інших, рівноцінних за технологічними властивостями, галузей. Це може не означати, що вони безпосередньо взаємозамінні, але мається на увазі схожість за структурою, назвою компонентів, розміром потоків. Інша частина компонентів сировинної бази є взаємовиключною для всіх співвиробників. Її можна продавати тільки на зовнішньому ринку, як сировину для інших галузей в надсистемі.

Третьою умовою в моделях повинна бути вибіркова потреба основних і допоміжних виробників у плані обміну продуктами утворення відходів з іншими учасниками. Іншими словами, частина продуктів утворення відходів кожного виробника йде на потреби інших виробників. І цей процес взаємозамінний.

Таким чином, здійснюється циклічність матеріальних потоків утворення відходів у рамках обраної системи.

Тоді обмін деякими видами матеріалів між двома суб'єктами виробничої діяльності (рис. 12.4) може мати форму суперпозиційної дуги (Φ_P, Ψ_O) орієнтованого графа, що з'єднує дві послідовні вершини $(a_{i-1}$ і $a_i)$, кожна з яких відображає деякі гомеоморфні якості цих двох виробників і може бути записана, як:

$$a_{i-1} \cdot (\Phi_P, \Psi_O) \cdot a_i. \quad (12.30)$$

Як правило, передбачається, що такий обмін і супутнє йому виробництво здійснюються без втрат. Ця загальна тенденція для математичних моделей різного типу — виключати втрати з розгляду або враховувати їх як стабільну величину — пов'язана з прагненням спростити обчислювальну частину моделювання.

У моделях утворення відходів це в принципі неможливо.

Оскільки нас цікавлять матеріальні потоки не тільки сировинної і виробничої бази, а й матеріальні потоки утворення відходів даного виробництва, ми будемо враховувати ці потоки як рівноправні у виробничій діяльності.

Для опису процесів матеріального обміну між двома виробниками, в яких беруть участь потоки матеріалів, що відторгаються, або відходів виробництва, необхідно розширити зміст математичної моделі на графі, за рахунок надання його структурним компонентам векторно-вагових функцій.

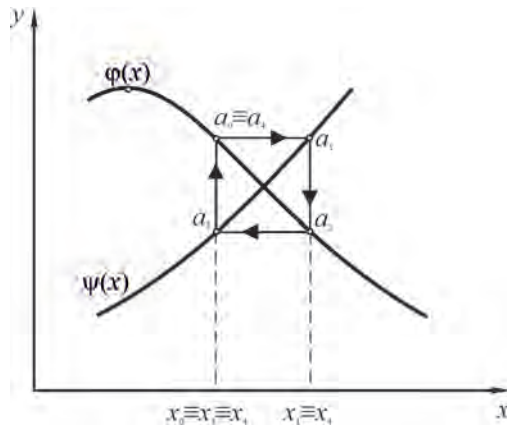


Рисунок 12.4 — Замкнуті цикли в одновимірних відображеннях
 $(\varphi'_p(x) \leq 0; \psi'_0(x) > 0)$

Звернемося до роботи З. А. Джалілової [8] і дамо наступні пояснення, без яких неможливо описати обмінні процеси в моделях утворення відходів, побудованих на графах.

Нехай n — деяке натуральне число, сенс якого полягає в тому, що кожному ребру графа присвоєна матриця $C^{i-1,i}$ розміру $n \times n$, всі елементи якої є невід'ємними числами. Сукупність матриць $C^{i-1,i}$ позначається як C . Тоді загальна форма графа, яка відображає процеси матеріального обміну між виробниками і споживачами, буде наступною: $G(G^0, G', C)$, де відбувається C -трансформація обміну.

Припустимо також, що кожній i -й вершині графа відповідає деякий невід'ємний вектор x^i . Припустимо також, що цей вектор має відношення при русі по всіх ребрах $(G'(i, i+k))$, які виходять з i -ої вершини. При такому русі уздовж певного ребра вектор x^i зазнає деяких змін, які і мають назву C -трансформації потоку. Такі трансформації визначаються характеристиками ребра (φ_p, φ_0) , уздовж якого відбувається цей рух. Тоді сенс матриці $C^{i-1,i}$ полягає в тому, що вона відображає фактичне перетворення матеріального потоку по ребру $G'(i-1, i)$ таким чином, що вектор x^{i-1} після переміщення по ребру в вершині $G^0(i)$ перетворюється в трансформованому вигляді в вектор $C^{i-1,i} x^{i-1}$.

У даній роботі нас цікавить особливий випадок, коли матриці трансформації $C^{i-1,i}$ мають діагональний вигляд

$$C^{i-1,i} = \begin{pmatrix} \alpha^{i-1,i,1} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \alpha^{i-1,i,k} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \alpha^{i-1,i,K} \end{pmatrix}, \quad (12.31)$$

де $0 \leq \alpha^{i-1,i,k} \leq 1$ k -й орг на конусі $(e_+^n)^m$, тобто суть відносні кількісні характеристики k -го матеріального потоку від $(i-1)$ -го виробника до i -го виробника (або споживача).

Тоді величина $1 - \alpha^{i-1,i,k}$ відображає ту частину матеріального потоку, яка в силу певних причин випадає з обміну і безповоротно втрачається як для виробництва, так і для споживання. Ми будемо вважати це своєрідним фактором розплати за проходження матеріального потоку по конкретному «ребру». Такими факторами можуть бути:

- втрати при транспортуванні, якщо функцією ребра є транспортна операція;
- втрати на стадії виробництва, якщо функція ребра пов'язана з виконанням виробничих операцій;
- планові відходи виробничої діяльності, якщо функція ребра відображає певний технологічний процес;
- дефекти і неякісна продукція при зниженні якості виробництва або порушенні технології;
- післяексплуатаційні відходи в разі, коли вони утворюються споживачем.

Діагональні елементи квадратної матриці в графі відображають петлі на вершинах, які замкнуті на себе. Тобто джерело матеріального потоку замикає його на собі. Але при цьому піддаватися однакою трансформації повинні всі речовини, які беруть участь в обмінних діях виробничого процесу, включаючи, що дуже важливо для нас, ті, які згодом відторгаються, тобто продукти відходування. При цьому джерело матеріального потоку замикає на себе ту його частину, який описується виразом $(1 - \alpha^{i-1,i,k})$.

Сукупність опису $G(G^0, G', C)$ дозволяє розглянути в структурі графа деяке багатфакторне відображення $E_{(G', C)}$, геометрично визначене на деякому конусі $(e_+^n)^m$. Тут $m = |G^0|$, n — натуральне число, яке ранжує матрицю $C^{i-1,i}$ і відповідає вищевказаним умовам.

Вищезгаданий конус $(e_+^n)^m$ являє собою геометричну інтерпретацію моделі обміну матеріальними потоками між виробниками (рис. 12.5). Точки по висоті конуса — це різноманітність вершин оргграфа, тобто сутність послідовних станів виробничої системи або її структурних компонентів. Вектор радіуса в основі конуса відображає вагову функцію матеріального потоку $x^i (\alpha^{i-1,i,k})$, який бере участь у C -трансформації на даному етапі виробничого процесу. В результаті на наступному рівні виробничого процесу ми маємо модифікований матеріальний потік $x^{i+1} (a^{i,i+1,k}) = C^{i-1,i} x^i (a^{i-1,i,k})$.

Уявімо узагальнений вектор матеріальних потоків, що беруть участь у процесі обміну $X = (x^1, x^2, \dots, x^i, \dots, x^m) \in (e_+^n)^m$. Структурні компоненти кожного

вектору позначаються як $y^{i-k,i} \geq 0$, так що $x^i = \sum_{k \in G^0} y^{i-k,i}$, де $k = 1, 1, m-1$. Для

кожної з вершин множини $k \in G^0$ обчислимо вектор $z^k = \sum_{i=1}^m C^{i-k,i} y^{i-k,i}$. В ре-

зультаті отримуємо нову множину $Z = (z^1, z^2, \dots, z^k, \dots, z^{m-1})$.

Повернемося до множині $E_{(G',C)}$. Віднесемо до неї ту частину векторів Z^k , яку можна отримати за цим алгоритмом. Таким чином, вважаємо багатofакторним відображення на графі матеріальних потоків, що беруть участь в обміні, таке, що

$$E_{(G',C)}(X) = \left\{ \begin{array}{l} Z = (z^1, \dots, z^k, \dots, z^{m-1}); z^k = \sum_{i=1}^m C^{i-k,i} y^{i-k,i}; y^{i-k,i} \geq 0; \\ \forall (i-k,i) \in G'; x^i = \sum_{k \in G^0} y^{i-k,i}; i = 1, 1, m \end{array} \right\}. \quad (12.32)$$

Розглянемо описану процедуру як обмін матеріальними потоками між послідовними вершинами графа, що здійснюється по ребрах і супроводжується С-трансформацією обмінюваних матеріалів. Тому багатовимірне відображення $E_{(G',C)}(X)$ називається відображенням обміну в математичній моделі [8].

Послідовність С-трансформацій на конусі $(e_+^n)^m$ виду $C^{i-1,i} x^{i-1} (1 - \alpha^{i-1,i,k})$, що представляє для нас безсумнівний інтерес, відображає матеріальні втрати на даному етапі виробництва або обміну. Тоді сукупність опису в графі $G(G^0, G', C)$ за алгоритмом (12.32) прийме вигляд:

$$E_{(G',C)}(X) = \left\{ \begin{array}{l} Z = (z^1, \dots, z^k, \dots, z^{m-1}); z^k = \sum_{i=1}^m C^{i-k,i} y^{i-k,i} (1 - \alpha^{i-1,i,k}); y^{i-k,i} \geq 0; \\ \forall (i-k,i) \in G'; x^i = \sum_{k \in G^0} y^{i-k,i} (1 - \alpha^{i-1,i,k}); i = 1, 1, m. \end{array} \right\}. \quad (12.33)$$

Тому векторний простір між конусом $(e_+^n)^m$ і призмою, побудованою на основі цього конуса (див. рис. 12.5), можна представити як відображення множини матеріальних потоків утворення відходів у процесі обміну між структурами виробничої системи або іншими виробниками. А множина $E_{(G',C)}$ у даному випадку буде називатися відображенням обміну при утворенні відходів.

З геометричного змісту відображення $E_{(G',C)}$ йдуть його істотні властивості, які дуже корисні при моделюванні та управлінні графовими моделями матеріальних потоків у виробничих системах.

Розглянемо ці властивості з позицій феномена утворення відходів.

1. Відображення обміну матеріальними потоками нульової множини є нульовою множиною.

$$E_{(G',C)}(0) = \{0\}. \quad (12.34)$$

Ця властивість математичної моделі може зацікавити нас однозначно як умова повної відсутності втрат у виробничій системі тільки в тому випадку, коли ми маємо справу з нульовим матеріальним потоком. У всіх інших випадках, якщо $X \neq 0$, ми отримаємо $E_{(G',C)}(X)$ у вигляді дійсної частини.

2. Для будь-якого вектору матеріального потоку $x \in (e_+^n)^m$ вірно $x \in E_{(G',C)}(X)$, якщо виконується умова

$$y^{i-k,i} = \begin{cases} x^i, & k=0; \\ 0, & k=1,m. \end{cases} \quad (12.35)$$

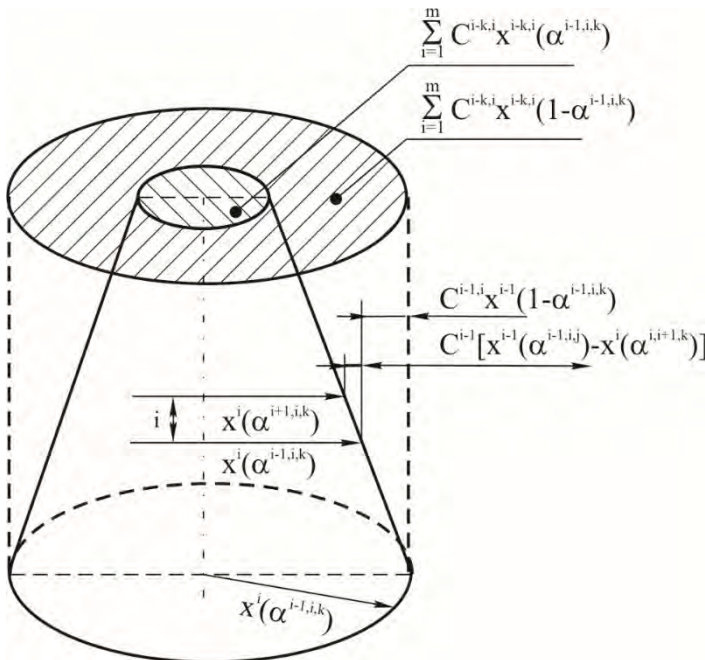


Рисунок 12.5 — Конус продукування в графопобудовних моделях

У першому випадку ми маємо одиничну матрицю, а в другому — нульову множину. Як для одиничної матриці, так і для нульової множини умова $x \in E_{(G',C)}(X)$ є безумовною.

3. Відображення обміну матеріальними потоками замкнуте.

Припустимо, що $x^{i-k,i} \rightarrow X; z^k (\in E_{G'C}(x^i) \rightarrow Z, k=1,1,m)$. Для всіх k визначимо такі елементи розбиття $y^{i-k,i} \geq 0, ((i-k,i)) \in G'$, для яких

$$\sum_{k=1}^m y^{i-k,i,k} = x^{i,k}, \quad (12.36)$$

$$\sum C^{i-k,k} y^{i-k,k,k}, \quad k, i = 1, 1, m. \quad (12.37)$$

Послідовності $(y^{i-k,i,k})_{r=1}^m$ мають обмеження на всіх ребрах із множини $(i-k, i) \in G'$, що вказує на їх збіжність. Від умови існування ліміту

$$\lim_{k=m} \sum_{i=1}^m C^{i-k,k} y^{i-k,k,k} = X \quad (12.38)$$

слідє замикання відображення $E_{(G',C)}(X)$ при будь-яких обмінних операціях типу S -трансформації. Слід зазначити, що згідно з властивістю 1) замикання багатofакторного відображення не відображає відсутність втрат при обміні матеріальними потоками.

4. Багатofакторні відображення обміну мають властивість суперпозиційності і схильні накладатися один на одного

$$E_{(G',C)}(X_1 + X_2) = E_{(G',C)}(X_1) + E_{(G',C)}(X_2). \quad (12.39)$$

Ця властивість дозволяє контролювати матеріальні потоки обміну при їх трансформаціях.

З урахуванням цього розглянемо тепер математичні моделі виробництва і обміну на графі.

За аналогією з процесами обміну введемо формулювання виробничого відображення p^i для певної системи, що складається з m виробників, які мають справу з адекватними матеріальними потоками. Тоді виробниче відображення всієї системи на конусі $(e_+^n)^m$ позначається багатовимірним відображенням P , що виступає у вигляді сукупності непорожніх підмножин цього конуса. Тут n — натуральне число, суть ранг матриці D -трансформації матеріального потоку в ході виробничої діяльності.

І знову за аналогією з процесами обміну припустимо, що

$$P_{(G',D)}(X) = \left\{ Z = (z^1, z^2, \dots, z^i, \dots, z^m) \in (R_+^n)^m : z^i \in p^i(x^i) \right\}. \quad (12.40)$$

Введемо поняття i -ої виробничої функції $F^i(X)$, пов'язаної з перетворенням матеріального потоку X . Тут $F^i \in G'$ у функціональному графі $G(G^0, G', D)$. Для виробничої системи, кожна структурна одиниця якої випускає тільки один вид продукції, максимальне виробництво повинно збігатися з

числом $\{x^i\} F^i(X)^{i-1,i,k}$, де $l^{i-1,i,k}$, яке, як і раніше, позначає k -й орт на конусі $(e_+^n)^m$. Потім виробниче відображення p^i може бути обчислено за допомогою виробничої функції як

$$P_{(G',D)}(X) = \left\{ \begin{array}{l} Z = (z^1, z^2, \dots, z^i, \dots, z^m): z^i = (0, \dots, f^i, \dots, 0); \\ 0 \leq f^i \leq F^i(X), \quad i = 1, 1, m \end{array} \right\}. \quad (12.41)$$

По суті, ми маємо справу зі збігом відображення з множиною, що описується виразом

$$P_{(G',D)}(X) \equiv \left\{ \begin{array}{l} z \in (e_+^n)^m: 0 \leq z \leq F(X); \\ F(X) = (f^1(x^1), \dots, f^i(x^i), \dots, f^m(x^m)) \in (e_+^n)^m. \end{array} \right\}. \quad (12.42)$$

Комбіновані операції виробництва й обміну матеріальними потоками здійснюються за допомогою композиції $\lambda = E_{(G',C)} \circ P_{(G',D)}$. Якщо спочатку відбувається обмін компонентами матеріальних потоків, а потім їх переробка, то розглядається композиція $\mu = P_{(G',D)} \circ E_{(G',C)}$. Розрахунки тут такі:

$$\lambda(X) = \bigcup_{X \in P_{(G',D)}} E_{(G',C)}(Y); \quad (X \in (e_+^n)^m). \quad (12.43)$$

$$\mu(Y) = \bigcup_{Z \in E_{(G',C)}} P_{(G',D)}(Z); \quad (Y \in (e_+^n)^m). \quad (12.44)$$

По суті, композиції $\lambda(X)$ і $\mu(Y)$ також є відображеннями векторів обміну і виробництва в їх різній послідовності. Причому правильно було б описати ці відображення в часових координатах.

У моделі виробництва й обміну для кожного i -го матеріального потоку вводимо цінний вектор і об'єднуємо їх у множину $H = (h^1, h^2, \dots, h^i, \dots, h^m) \in (e_+^n)^m$. Причому цінова значимість в тій чи іншій мірі стосується всіх потоків, включаючи потоки утворення відходів. Тоді в загальних рисах для будь-якого потоку в моделі значення $h^i x^i$ — це витрати на виробництво даного виду матеріального потоку незалежно від способу продукування і предмета даного виробництва. Коли змінюємо $i = 1, 1, m$, ми маємо траєкторію зміни вартості конкретного потоку. Оскільки модель враховує як продукування будь-якого виду, так і будь-який обмін матеріальними потоками, можна визначити оптимальну собівартість продукування і конкретний етап виробничої системи, на якому цей оптимум досягається. Загалом, для множини $X = \{x^i\}$, за умови, що їй відповідає множина $H = \{h^i\}$, траєкторія HX вважається оптимальною за вартістю, якщо в будь-який момент часу виконується умова

$$\{hx(\tau)\} = \max \left[H_{\tau} \overline{x^i(\tau)} \right]. \quad (12.45)$$

При цьому для будь-якої траєкторії матеріальних потоків $\left[x^i(\tau) \right]$ існує ієрархічно визначена залежність

$$\left[H_{\tau} \overline{x^1(\tau)} \right] \geq \left[H_{\tau} \overline{x^2(\tau)} \right] \geq \dots \geq \left[H_{\tau} \overline{x^M(\tau)} \right].$$

Конкретизація даних, отриманих у моделях щодо утворення відходів у виробничих процесах, здійснюється за допомогою відходоутворюючих виробничих функцій. Іншими словами, будь-яке утворення відходів у рамках структурної одиниці виробничої системи описується деякими чітко визначеними виробничими відображеннями.

У математичній моделі, що описується графом $G(G^0, G', D)$, позначимо через r^i деякий відхід, отриманий i -ою структурою виробничої системи таким чином, щоб $G_k^0 = \{i: r^i = R\}$; $r = 1, 1, n$. Таким чином, ще раз підкреслимо, що під множиною вершин функціонального графа розуміється послідовність гомеоморфних параметрів, які характеризують виробничу систему. В даному випадку така послідовність спрямована на отримання потоку відходів, що позначається r^i . Тому запис $G^0 = G_1^0 \cup G_2^0 \cup \dots \cup G_n^0$ для них справедлива. Позначимо виробничу функцію системи в часовому проміжку $[\tau - \Delta\tau, \tau]$ через $R_{\tau - \Delta\tau}^{i-1}$. Цей параметр визначає максимально можливе продукування на даному потоці. Якщо мається на увазі потік відходів, то $R_{\tau - \Delta\tau}^{i-1}$ на даному часовому проміжку відображає процес утворення відходів. Виробниче відображення $p_{\tau - \Delta\tau}^{i-1}$ для $(i - 1)$ -ої структури за період $\Delta\tau$ розраховується наступним чином

$$p_{\tau - \Delta\tau}^{i-1} = R_{\tau - \Delta\tau}^{i-1} l(r^{i-1}), \quad \tau = (0 - T). \quad (12.46)$$

Тут $l(r^{i-1})$ — r -й орт у просторі між конусом $(e_+^n)^m$ і циліндром, побудованим на основі цього конуса (див. рис. 12.5), причому $0 \leq l(r^{i-1}) \leq 1$. Цей орт виробничої системи легко відповідає орту системи обміну $\alpha^{i-1, i, k}$ і також підлягає матричному опису. Однак і тут є свої особливості.

Множина $p_{\tau - \Delta\tau}^{i-1}(r)$ має найбільше значення, якщо $x_{\tau}^i = F_{\tau}^i(r) l(r^i)$. Елемент розділу потоку відходів $\bar{y} \in p_{\tau}^i(r)$ представимо у вигляді

$$\bar{y} = \beta R_{\tau}^{i-1}(r) l(r^{i-1}), \quad 0 \leq \beta \leq 1. \quad (12.47)$$

Проміжний орт не несе функціонального навантаження і підпорядковується стандартній умові $\sum_{i \in G'} \hat{a}_{\tau}^{i-1, i} \leq 1$ таким чином, щоб $\hat{a}_{\tau}^{i-1, i} l(r^{i-1}) = x_{\tau}^{i-1, i}$.

Матрична множина $D^{i-1,i}$ графа $G(G^0, G', D)$ даної виробничої системи визначається також, як і для обмінних процесів, а саме

$$D^{i-1,i} = \begin{pmatrix} \beta^{i-1,i,1} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \beta^{i-1,i,k} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \beta^{i-1,i,K} \end{pmatrix}. \quad (12.48)$$

У цих умовах можна вважати, що послідовність $y_\tau; \tau = 0 - T$ є траєкторією процедури утворення відходів тільки при наявності таких значень $\beta^{i-1,i,k}$, щоб $\sum_{i \in G} \beta_\tau^{i-1,i} \leq 1$. Тоді елемент розбиття потоку утворення відходів має вигляд:

$$\bar{y}_\tau^{i-1} = \sum \beta_\tau^{i-1,i} R_\tau^{i-1}(r^{i-1}) D^{i-1,i} l(r^{i-1}). \quad (12.49)$$

Якщо продовжувати розглядати матриці $D^{i-1,i}$ як діагональні (тобто такі, що виконують умову замкнення власних матеріальних потоків виробництва на себе, для власних потреб), виду (12.48), то виконується умова $D^{i-1,i} l(r^{i-1}) = \beta^{i-1,i,k(i-1)} l(r^{k(i-1)})$, а потім з рівняння (12.49) слідує наступне

$$y_\tau^{i-1} = \sum_{i-1 \in G(i)} \beta_\tau^{i-1,i} \beta^{i-1,i,k(i-1)} R_\tau^{i-1}(r^{i-1}) l(r^{k(i-1)}). \quad (12.50)$$

Ефективність траєкторії потоку відходів буде залежати від корисності кожного елемента розбиття і визначається цінним вектором $H_\tau = (h_\tau^1, h_\tau^2, \dots, h_\tau^i, \dots, h_\tau^m) \in (e_+^n)^m$ у тому випадку, якщо $h_{\tau-1}^{i-1} \in (p_{\tau-1}^{i-1}) [q^{i-1}(H_\tau)]$, а $[q^{i-1}(H_\tau) - (D^{(i-1),i})] = 0, \forall (i-1, i) \in G'$. Тут p — виробниче відображення функції $R_{\tau-\Delta\tau}^{i-1}$, а q — оператор, який обчислюється за формулою $q^{i-1}(H) = \sup [(D^{i-1,i}) h^i]$. У матричному вигляді цей оператор розраховується як добуток діагональної матриці трансформацій для даного матеріального потоку на її цінний вектор.

$$(D^{i-1,i})(h_\tau^i) = \begin{pmatrix} \beta^{i-1,i,1} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \beta^{i-1,i,k} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \beta^{i-1,i,K} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h_\tau^{i,1} \\ \dots \\ h_\tau^{i,K} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta^{i-1,i,1} h_\tau^{i,1} \\ \dots \\ \beta^{i-1,i,k} h_\tau^{i,k} \\ \dots \\ \beta^{i-1,i,K} h_\tau^{i,K} \end{pmatrix}. \quad (12.51)$$

Узагальнююча функція корисності Ω елементів матеріального потоку в математичній моделі повинна мати форму рівноважної залежності і визначатися в першу чергу споживчими властивостями самих компонентів. Якщо мати на увазі потоки утворення відходів, то функція корисності $\Omega(y)$ відображає наявність споживчих властивостей елементів потоку. Звичайно, ціновий вектор потоку може служити характерним показником цих властивостей, якщо припустити, що самі ціни є функціями змінними, принаймні у часі, і стохастичними в рамках існуючої виробничої функції утворення відходів R_{τ}^{i-1} .

При заданому ціновому векторі $H_{\tau} = (h_{\tau}^1, h_{\tau}^2, \dots, h_{\tau}^i, \dots, h_{\tau}^m)$ рішення задачі максимального використання відходів може бути зведено до умови

$$\Omega^i(y) \rightarrow \max, \quad y \geq 0, \quad (12.52)$$

$$(\beta^{i-1,i} y^{i-1}, h_{\tau}^{i-1}) \leq q^{i-1}(H), \quad (12.53)$$

коли досягнення певного результату в вигляді y^i зможе задовольнити виробника, як повністю реалізований на зовнішньому ринку i -й відхід. Якщо вектор H_{τ} такий, що $\sum y^i = Y$ (умова повної реалізації відходів), то множину

$$(H_{\tau}, \beta^{1,2} y^1, \dots, \beta^{i-1,i} y^{i-1}, \dots, \beta^{m-1,m} y^{m-1}) \quad (12.54)$$

можна назвати умовою стану рівноважності для даного потоку відходів, а $H_{\tau} = (h_{\tau}^1, h_{\tau}^2, \dots, h_{\tau}^i, \dots, h_{\tau}^m) \in (e_+^n)^m$ — вектором рівноважних цін. Симплекси $(\beta^{i-1,i} y^{i-1})$ — це не що інше, як вектор продукування, записаний як дискретна функція. Причому проєкція виробничої функції між $(i-1)$ -м і i -м компонентами розбиття потоку відображає ту частину отриманих відходів, яка в результаті цього виробництва набуває властивість корисності таким чином, що призведе до уточнення вектору цін у наступному вигляді $H_{\tau}^* = (h_{\tau}^1, h_{\tau}^2, \dots, h_{\tau}^i, \dots, h_{\tau}^m, h_{\tau}^{m+1}) \in (e_+^n)^{m+1}$.

12.4. Екологічні цикли з позицій енергоентропійних систем

Очевидні властивості екологічних циклів — характеристичність у просторі і часі, замкнутість, безперервність, рівномірність, матеріалізація в потоках речовини, енергії та інформації — роблять їх впізнаваними серед інших моделей у природознавстві. Не менш важливим поняттям є енергоентропія таких складних систем. Цим визначається розуміння початкових механізмів утворення відходів. З енергоентропією, в першу чергу, пов'язані процеси поділу матеріальних потоків на товарні продукти і відходи. Нами надана оцінка ви-

щезгаданим властивостям екологічних циклів, зокрема сформульовано умови, що забезпечують безперервність і рівномірність потоків речовин і енергії в кругообігу.

Тут необхідно уточнити таке поняття, як стійкість екологічного циклу. Рівноважність екологічних циклів забезпечується далеко не у всіх випадках, які нас цікавлять. Екологічні цикли відображають багаторазове перетинання матеріальних потоків і їх перерозподіл, в тому числі там, де це пов'язано зі зміною властивостей матеріалів і енергії. Зокрема, можна говорити про властивості тієї частини матеріального потоку, яка переходить у відходи. Ця частина матеріальних потоків найчастіше не знаходить прояви в початковому циклі. Вона або випадає з нього, переходячи в інший цикл (оскільки речовини не можуть існувати поза циклами), або, отримавши відповідні зміни властивостей, асимілюється у вузлах цього циклу, змінюючи свою рівновагу. У будь-якому з цих двох випадків втрачається стабільність матеріальних потоків у циклі. Зрештою, система призводить до біфуркації зон нестійкості і навіть хаосу. Тому, якщо розглядати екологічні цикли як об'єкти управління, то потоки утворення відходів є основним збуджуючим фактором, що сприяє порушенню стійкості циклу.

Спробуємо описати матеріальні потоки екологічного циклу в термінах, що дозволяють проаналізувати їх динаміку в умовах явної нестійкості системи. Для цього наведемо поняття спеціального потоку V як математичної характеристики фізичного потоку Φ .

Нехай M — простір односторонніх нескінченних послідовностей $X = \{x_i\}$, де кожна координата x_i отримує значення з фіксованої множини порядку I . Визначимо вимірну динамічну функцію розподілу матеріального потоку між тією його частиною, яка використовується в циклі, і тією, яка залишає його у вигляді невикористаних відходів, як $f(x_i, t) > 0$, у просторі з мірою (M, σ, μ) , де діє автоморфізм функції Φ , причому $\int f d\mu = 1$, а $\int f dt : \Phi \rightarrow M$. Функція Φ повинна бути умовно стійкою, причому стійкість визначається рішенням

$$b_i [\ln(\alpha) - \alpha] + b_j [\ln(u) - u] = W(T), \quad (12.55)$$

де $W(T)$ — константа інтегрування в рівняннях нерівноважних відхилень у замкнутому циклі [9] від

$$\frac{de}{dt} = -b_j e(1-u), \quad \frac{du}{dt} = b_i u(1-e), \quad (12.56)$$

де $e = E/E_0$ — приведена величина накопичення в матеріальному потоці, який перетворюється;

$u = U/U_0$ — це приведена величина утилізованої частини того матеріального потоку, який залишається в циклі.

Міра μ в просторі M односторонніх нескінченних послідовностей $X = \{x_i\}$ ненормована і скінченна, тобто $\mu(M) < \infty$. Тоді під спеціальним потоком, що побудований за автоморфізмом Φ і функцією f розуміється *потік* $\{V^t\}$, що діє на M^f за умовою

$$V^t(x, s) = (\Phi^n x, s + t - \sum_{k=0}^{n-1} f(\Phi^k x)), \quad (12.57)$$

де n визначається з нерівності

$$\sum_{k=0}^{n-1} f(\Phi^k x) \leq s + t < \sum_{k=0}^n f(\Phi^k x). \quad (12.58)$$

Тут важливе місце відводиться теоремі [10], згідно з якою будь-який фізичний потік $\{\Phi^t\}$ в просторі (M, σ, μ) метрично ізоморфний деякому специфічному потоку $\{V^t\}$, якщо у нього немає фіксованих точок. Оскільки матеріальні потоки в екологічному циклі практично не бувають статичними (за винятком неосвоєних родовищ мінеральної сировини), можна припустити, що тут не може бути фіксованих точок. Це означає, що:

– для будь-якого потоку $\{\Phi^t\}$, який не має фіксованих точок, існує інваріантна множина міри $\mu > 0$, яка дозволяє регулярне розбиття, таке, що $f = F(y) \geq C_0$ при деякій константі C_0 . Ця константа характеризує ту частину потоку, яка за жодних обставин не повинна виходити з циклу;

– якщо вихідний фізичний потік $\{\Phi^t\}$ має інваріантну множину міри, таку, що $\int f d\mu = 1$, що допускає регулярне розбиття, і $F(y) \geq C_0 > 0$, то цей потік метрично ізоморфний деякому спеціальному потоку $\{V^t\}$.

Різниця $(f - C_0)$ — це не що інше, як мінімально виправданий рівень утворення відходів для тих методів трансформації матеріальних потоків, які притаманні даному екологічному циклу. Саме такий рівень утворення відходів термодинамічно притаманний будь-якій системі. Це величина, яка відображає фізичну сторону процесів, що відбуваються в рамках даного екологічного циклу.

Таке пояснення робить фізичні потоки в екологічних циклах математично працездатними, дозволяє знайти їх місце в теорії динамічних систем.

Зокрема, це дає можливість виявити діапазон претензій і межі замикання потоку. Під кордоном множин $Q \in M$ по відношенню до фізичного потоку $\{\Phi^t\}$ слід розглядати таку множину ∂Q , коли для будь-якого $x \in M$ справедливим є відношення

$$(\partial Q) \cap \{\Phi^t x : -\infty < t < \infty\} = \partial(Q \cap \{\Phi^t x : -\infty < t < \infty\}). \quad (12.59)$$

Звичайно, під відображенням $\varphi: M \rightarrow M^{(1)}$ мається на увазі не тільки метричний ізоморфізм фізичного і спеціального потоків, але і їх взаємна семантична відповідність.

Важливе значення для екологічного циклу має поняття ентропії самого потоку як характеристики нерівноважності динамічної системи. Це поняття пов'язане, перш за все, з процесом утворення відходів циклами. Проф. Я. Синай у [10] довів, що ізоморфні динамічні системи (в нашому випадку — ізоморфні потоки в межах екологічних циклів) мають однакову ентропію. Тобто для відображення $\varphi: M \rightarrow M^1$ ізоморфних динамічних систем (M, M, μ, Φ) і $(M^1, M^1, \mu^1, \Phi^1)$, де $\Phi^1 = \varphi \Phi \varphi^{-1}$, при довільному розбитті λ маємо:

$$\begin{aligned} S(\varphi\lambda, \Phi^1) &= S(\varphi\lambda, \varphi\Phi\varphi^{-1}) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} S(\varphi\lambda V \dots V \varphi\Phi^n \lambda) = \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} S(\lambda V \dots V \Phi^n \lambda) = S(\lambda\Phi). \end{aligned} \quad (12.60)$$

Розрахунок ентропії для ізоморфних потоків можна здійснити за допомогою теореми А. М. Колмогорова, згідно з якою для будь-якого λ -розбиття фізичного потоку F з $S(\lambda)$ має місце

$$S(\Phi) = S(\lambda\Phi). \quad (12.61)$$

В першому наближенні математична модель нерівноважного фізичного потоку в замкнутому екологічному циклі може бути описана системою диференціальних рівнянь

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y, t), \quad \frac{dy}{dt} = \phi(x, y, t), \quad (12.62)$$

якщо потік зберігає інваріантну міру $d\mu = \rho(x, y) dx dy$.

Ми не будемо обмежувати значення констант у рівняннях, тобто припустимо, що $f(x, y), \phi(x, y)$ і $\rho(x, y)$ є функціями класу C_0^∞ . У циклі завжди можна знайти кусково-гладкі координати, в яких траєкторію руху потоку можна описати у вигляді прямої $y = a_0 + a_1 x$. При цьому система диференціальних рівнянь циклу має вигляд:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y, t), \quad \frac{dy}{dt} = a \cdot f(x, y, t), \quad (12.63)$$

причому $f(x, y, t) \neq 0$

В загальному вигляді рішенням тут виступає стаціонарний (при $t = 0$), періодичний або аперіодичний процеси. Однак, говорячи про екологічний цикл як про ентропійно нерівноважну динамічну систему, слід розуміти, що через складні перетини потоків речовин та енергії власного циклу і потоків, що при-

тягнуті з інших циклів, у ньому можуть існувати більш складні часові закономірності, включаючи, як зазначалося раніше, термодинамічні розгалуження (біфуркації), без яких модель такого циклу не є непереконаливою. Можливість біфуркаційних змін у рамках екологічного циклу визначається різкою нестаціонарністю матеріальних потоків утворення відходів, хаотичністю їх впливу на, в цілому, стаціонарні характеристики технологічних процесів, де вони використовуються.

Будь-який дисипативний процес можна розглядати як перехід з одного стаціонарного стану системи в інший, що характеризується високим рівнем інтегральної ентропії. У тому випадку, якщо дисипативні процеси в циклі пов'язані з появою продуктів утворення відходів, які можуть брати на себе подвійну функцію, що полягає, по-перше, у видаленні цієї частини матеріального потоку з екологічного циклу, як непотрібного відходу, і, по-друге, в утилізації відходів у самому циклі, як невідторгнутого компонента, то перехідні процеси в цілому мають дуже складну траєкторію, яка в деяких своїх фазах може перетворюватися в гілки біфуркаційного характеру (рис. 12.6).

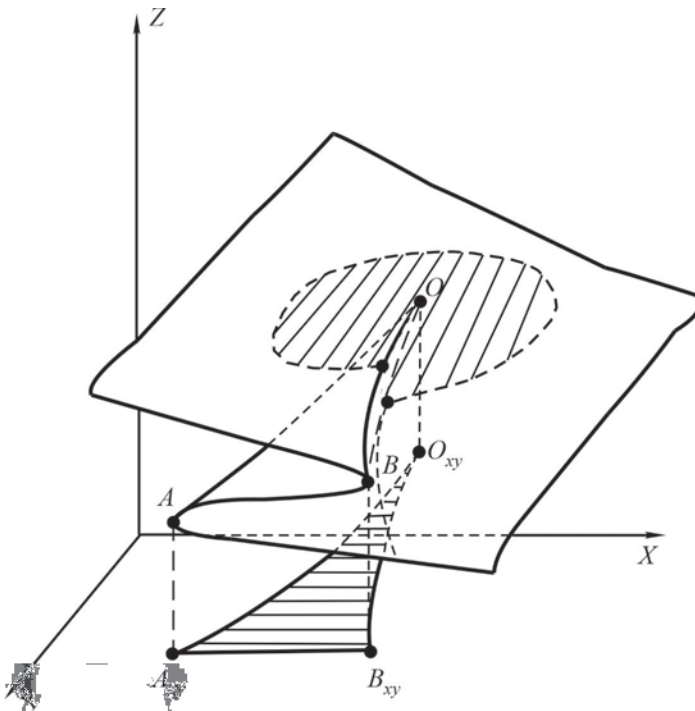


Рисунок 12.6 — Вплив гілок біфуркації на стійкість екологічного циклу

Такий двосуттєвий стан частини матеріальних потоків тягне за собою вторинне коло випадкових процесів, які на макрочасовому рівні пов'язані з флуктуацією властивостей сировини, а значить, властивостей і явищ, що закладені

в саму технологію. Все це призводить до появи нестійкості потоків всередині циклу, розгалуження відповідних функцій системи.

Явища біфуркації, пов'язані з розгалуженням матеріальних потоків утворення відходів в екологічному циклі, носять скоріше не фізичний, а умоглядний характер і засновані на уявленнях про економічну подвійність поняття «відходи» і його фізичну адекватність корисним продуктам у рамках конкретних технологічних процесів.

Саме тому для опису ентропійних процесів в екологічних циклах можна використовувати рівняння, засновані на балансі, які в кінцевому результаті приводять систему в квазістаціонарний стан

$$\frac{d}{dt} Prob(f, t) = \Delta f^+ - \Delta f^- . \quad (12.64)$$

Швидкість переходу Δf^+ можна представити як добуток ймовірності (p) переходу за одиницю часу з деякого проміжного стану f в стан f у момент часу t з підсумовуванням цього добутку по всіх проміжних станах. В цих станах система може перейти в f , як наслідок найпростішого динамічного перехідного процесу в рамках часових флуктуацій параметрів сировинної бази, які можуть включати, як збурюючі параметри, відходи того ж або інших циклів.

Так само швидкість переходу Δf^- є сумою добутків ймовірностей (p) переходу зі стану f в стан f у момент часу t на ймовірності зворотного переходу з f в f по всіх можливих станах f , які досягаються при переході зі стану f .

В явному вигляді таке рівняння має вигляд:

$$\frac{d}{dt}(f, t) = \sum_{f \neq f'} \left[p\left(\frac{f}{f'}\right) r(f', t) - p\left(\frac{f'}{f}\right) r(f, t) \right]. \quad (12.65)$$

Рівняння (12.65) явно нелінійне, а нелінійність пов'язана в основному з нелінійністю швидкостей переходу (p) в один і в інший бік від стану умовної рівноваги циклу. У будь-якому випадку цю нелінійність легко показати для областей, далеких від рівноважного стану детермінованої системи.

Такими рівняннями легко описуються процеси, які побудовані на балансі типу «прибуток–збиток». Зокрема, ми покажемо, що до них відносяться термодинамічні процеси в екологічних циклах, характерні для номенклатури матеріальних потоків утворення відходів, в тій їх частині, яка відображає втрати непотрібних матеріалів із циклу, або надходження перероблених матеріалів назад у цикл. Заради утримання системи в детермінованому просторі, існує можливість охарактеризувати ці процеси множиною цілих чисел $\{\alpha_i\}$, для яких $\alpha_i = \alpha_{i-1} + 1$. Наприклад, це може бути порядковий номер фізичного потоку відходів, який бере участь у циклі. Для конкретного потоку зафіксуємо рішення в формі

$$p\left(\frac{\alpha}{\alpha'}\right) = \sum_k p_k \left(\frac{\alpha}{\alpha'} - s_k\right) \delta_{\alpha', \alpha - s_k}^{ks}, \quad s_k = 0, \pm 1. \quad (12.66)$$

Тут k відповідає деякому фіксованому стану потоку, а s_k являє собою кількість компонентів, які пов'язані з даним потоком матеріалів, які зменшуються ($s_k < 0$) з даного потоку і навіть з екологічного циклу, або надходять ($s_k > 0$) сюди з інших потоків. Якщо під шуканим потоком розуміти деяке утворення відходів, характерне для процесів переробки матеріалів у даному циклі, то можна показати, що швидкості прибутку і втрат матеріалів у такому потоці визначаються відповідно, як

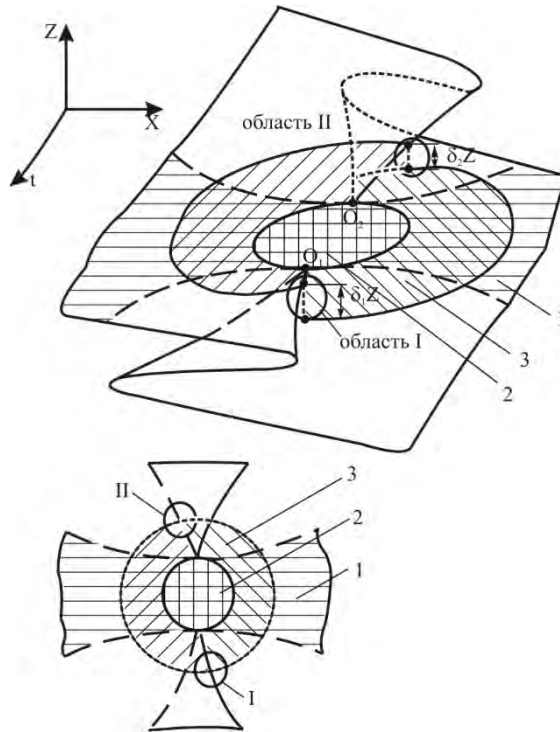
$$\begin{aligned} \ddot{o}_\alpha &= \sum_k p_k \left(\frac{\alpha}{\alpha'} - 1\right) N^c, \quad \alpha \geq 0, c > 1; \\ \dot{u}_\alpha &= \sum_k p_k \left(\frac{\alpha}{\alpha'} + 1\right) N^c, \quad \alpha \geq 1, c > 1. \end{aligned} \quad (12.67)$$

В результаті комунікативних процесів всередині циклу кожен компонент матеріального потоку може одночасно відчувати вплив багатьох інших компонентів потоків, що беруть участь у циклі. Швидкості переходу в цьому випадку можна описати залежностями потужності типу N^C , де N — кількість змін, яких зазнає елемент потоку в рамках циклу; C — емпіричний показник. Вираз, який стоїть під знаком суми, відображає важливу особливість процесів стохастичної динаміки, пов'язану з безліччю перетинів матеріальних потоків, виражених цілочисленими змінними, в їх модифікаціях. Під такими модифікаціями нас найбільше цікавлять ті, які відносяться до вже утилізованих матеріалів, або матеріалів вторинної переробки (див. рис. 12.4), тобто прибуткових відходів (Φ_α), які повертаються в потоки циклу, і таких, що втрачаються у вигляді невикористаних відходів (Ψ_α).

Згідно з другим законом енергоентропії, такі перетворення матерії і енергії в рамках одного циклу призводять до загального збільшення ентропії системи. Це очевидно. У зв'язку з цим нас може зацікавити питання про перерозподіл ентропії між циклами і між потоками в одному циклі.

Адже, як було показано вище, саме такі перерозподіли відповідають за репаративні, тобто процеси творення всередині циклу. Якщо мова йде про утворення відходів та їх затримку в циклі, то причиною цього може бути тільки репаративний процес, який здійснюється за рахунок зовнішньої енергії або перерозподілу ентропії всередині системи.

Поки не ясно, чи можуть репаративні явища відбуватися в екологічних циклах під впливом біфуркаційних стрибків, хоча, імовірно, це можливо. Наприклад, якщо припустити, що в системі є дві і більше технології, структура яких містить протифазні гілки (рис. 12.7), кожна з яких відображає зміну стану матеріального потоку в області стрибка.



- 1 — область потенційної стійкості;
- 2 — область сталого стану циклу;
- 3 — область нестійкості циклу

Рисунок 12.7 — Области нестійкості в екологічному циклі із зустрічними біфуркаціями

Візьмемо за функцію реакції системи $Z(X, t)$ деяку якісну характеристику матеріального потоку, що відображає його властивості як відходу. Наприклад, це може бути його споживча вартість. Послідовне стрибкоподібне зниження функції відгуку в області 1 на величину $\delta_1 Z$ і збільшення цієї ж функції в області 2 на величину $\delta_2 Z$ означає, що матеріальний потік утворення відходів, отриманих в області 1, засвоюється в циклі в результаті деяких перетворень в області 2. Якщо $\delta_1 Z = \delta_2 Z$, то втрат матеріалів із циклу не відбувається. Якщо $\delta_1 Z \neq \delta_2 Z$, то різниця між цими двома величинами є не що інше, як втрачена частина відходів, яка випадає з циклу.

$$\Delta f = \varphi_\alpha + \psi_\alpha = \frac{d\delta_1 Z(X, t)}{dt} + \frac{d[-\delta_2 Z(X, t)]}{dt}. \quad (12.68)$$

Швидкість таких переходів відображає прибуткову частину балансового рівняння (12.65). Для випадку, коли $\delta_1 Z = \delta_2 Z$, швидкість переходу $\Delta f = 0$

. Такі процеси можуть сприяти розвитку репаративних термодинамічних процесів всередині циклу.

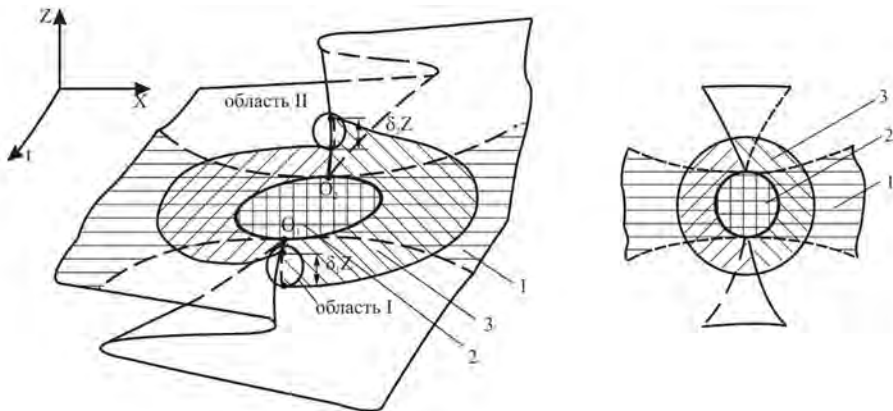
Зокрема, це стосується процесів повної утилізації відходів у рамках циклу ($\delta_1 Z = \delta_2 Z$).

Певний інтерес у такій моделі представляє випадок, коли в циклі виникають однофазні перехідні процеси (рис. 12.8). Такі моделі нагадують системи з позитивним зворотнім зв'язком. Тут зміна функції відгуку $\delta_1 Z$ збігається по фазі зі зміною функції відгуку $\delta_2 Z$. Тому утворення відходів в області 1 ніяк не компенсується у певній області 2, а, навпаки, накладається на вже наявні відходи, накопичуючись у певній кількості $\sum_n (\delta_1 Z + \delta_2 Z)_n$ і збільшуючись із кожним кроком n циклу. Швидкість переходу в даному випадку

$$\Delta f = \frac{d\delta_1 Z(X, t)}{dt} + \frac{d\delta_2 Z(X, t)}{dt} > 0. \quad (12.69)$$

Це відомий випадок розвитку дисипативних процесів всередині циклу, коли $\delta_1 Z + \delta_2 Z > 0$.

На закінчення розглянемо ще один випадок стану екологічних циклів, який представлений на рис. 12.7 і 12.8, як область сталого стану циклу. Він входить у так звану область потенційної стійкості на поверхні функції відгуку $Z(X, t)$, між точками \hat{I}_1 і \hat{I}_2 . Це область стабільності, в якій практично відсутні явища біфуркації. Функція відгуку тут має вигляд гладкої поверхні управління. Термодинамічні процеси в даній області мають однозначний вектор розвитку дисипативних змін матеріальних потоків системи.



- 1 — область потенційної стійкості;
- 2 — область сталого стану циклу;
- 3 — область нестійкості циклу.

Рисунок 12.8 — Варіант області нестійкості при послідовних біфуркаціях

12.5. Роль флуктуацій у стійкості екологічних циклів

Проблеми управління потоками відходів виробничої діяльності в режимах, узгоджених із потоками інших матеріалів, що складають єдине ціле будь-якого виробництва, є дуже актуальним завданням не тільки з позицій екології, але і виходячи з умов економіки процесів. Якщо при цьому так звані корисні матеріальні потоки виробництва є врахованими і прогнозованими, то потоки утворення відходів, залежні від багатьох факторів виробничого середовища, і не тільки, найчастіше несуть у собі опис випадкових процесів.

Причому ступінь випадковості тут зростає тим більше, чим глибше ми втручаємося в надсистему. Зрештою, аналізуючи окремі виробничі процеси і розподіляючи матеріальні потоки утворення відходів у надсистемі, ми неминуче приходимо до хаотичного розподілу нескінченної кількості відходів між багатьма виробничими системами, а також у природних системах (у вигляді звалищ, газових хмар, забруднених водойм і т. д.). Незважаючи на постійний моніторинг за систематизацією розподілу таких відходів державними та громадськими організаціями у світі, вже зараз важко відмовитися від розуміння хаотичного характеру цього процесу. Що це? Безсилля людини перед потужним техногенним впливом на природу? Тупикова гілка в системі пізнання? Гадаємо, що ні. При цьому слід вміти знаходити керуючі функції навіть у таких екологічних процесах, які носять загальний хаотичний характер.

Немає потреби говорити про те, що сьогодні вже існують гіпотези про поступовий перехід людства в якийсь технологізований світ [11]. Автор із певною часткою переконаності показує, що тенденції використання природних ресурсів, розвиток промисловості, перспективи урбанізації населення, і особливо, ступінь забруднення навколишнього середовища промисловими і побутовими відходами все більше унеможливує співіснування природи і людини. І це незважаючи на значні зусилля суспільства щодо обмеження такого впливу. Можна сподіватися, що песимістичний вектор у відносинах людини і природи не має перспектив. Проте систематизація та аналітичний огляд сукупності законодавчих, організаційних, інженерно-технічних і навіть вольових рішень у сфері зниження техногенного й антропогенного навантаження на навколишнє середовище дозволяє зробити висновок, що управління такими процесами є дуже складним завданням. Це проблема, яку необхідно вирішувати в умовах множинної невизначеності. І рішення таких завдань немислиме без вивчення природи явища, яке ми збираємося контролювати.

З цих причин повернемося до вивчення екологічних циклів.

Припустимо, що в певний багаторівневий екологічний цикл надходить матеріальний потік утворення відходів певного складу з відомих технологій цього циклу, який тут повинен трансформуватися. При повторному використанні

даного матеріального потоку в якості сировини для технології заданого рівня його компоненти повинні повторно відбраковуватися від технологічного процесу в кількості, пропорційній функції

$$\alpha_n = \sum_{p=1}^P R_{np} / \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^N C_{in} . \quad (12.70)$$

Тут і далі:

n — порядковий номер рівня системи;

i — порядковий номер елемента сировинної бази;

j — порядковий номер елемента виробничої бази;

p — порядковий номер елемента бази відходів.

Нас буде цікавити та частина відторгнутого матеріального потоку, яка не підлягає багаторазовому використанню в даній технології. Його можна описати рівнянням оптимізації

$$\lim_{i \rightarrow p} \Delta(\alpha_n R_{in} - \gamma_n R_{pn}) = R_0, \quad (12.71)$$

де R_0 — межа накопичення відходів на заданому рівні системи від деякої технології.

Такий процес накопичення має характер позитивного зворотного зв'язку при розподілі матеріальних потоків виробничих систем заданого рівня, зокрема, до певної межі R_0 . За аналогією з явищем гістерезису це явище можна назвати ефектом пам'яті технології на цей компонент. Більш того, його особливість полягає в тому, що не існує умови $R_0 = \text{const}$. Іншими словами, на цьому рівні ієрархії в екологічному циклі існує можливість іншого процесу, який здійснюється відповідно до функції спорідненості системи

$$\gamma_n = \frac{\sum_{p=1}^P R_{np}}{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \Pi_{jn}}, \quad (12.72)$$

коли деякі вторинні компоненти все ж таки використовуються в технології початкового рівня $R_0 = f(r, t)$. Цей процес накопичення відходів і їх вторинне використання наведені на рис. 12.9.

Чітко очевидна область бістабільності, існування якої залежить від характеру заданих технологічних процесів, особливостей енергії, сировини і продукційних баз системи. Такі багаторівневі системи характеризуються невривноваженістю, явною нелінійністю, нестійкістю і невпорядкованістю структури. Тому до них можуть бути застосовані умови, що сприяють формуванню не тільки бістабільних, але і хаотичних явищ.

У роботах Г. Ніколіса, І. Пригожина та їх послідовників [12, 13, 14, 15] давно встановлено, що в явно деструктурованих хаотичних системах існують явища самовпорядкування і самоорганізації, які інтуїтивно важко досягнути. Вони засновані на здатності хаотичних і неупорядкованих систем спонтанно структуруватися, набувати властивостей більш високої впорядкованості. Існує ряд переконливих аргументів на користь того, що поведінка динамічних систем, в тому числі технічних, описується не тільки їх стаціонарним станом, періодичними або аперіодичними коливаннями. Існує четвертий стан на межі між закономірним рухом системи і її хаотичними проявами. На границі цих станів системи існують механізми, схожі з еволюційним розвитком або процесами обробки інформації [16].

Така гранична область, звана «краєм хаосу», вважається відповідальною за процеси впорядкування в явно нерівноважних системах і пов'язана з проявами в них руху специфічного коливального характеру. Ці явища можна розглядати для широкого спектру екотехнічних систем, виникнення яких пов'язано з діяльністю людини.

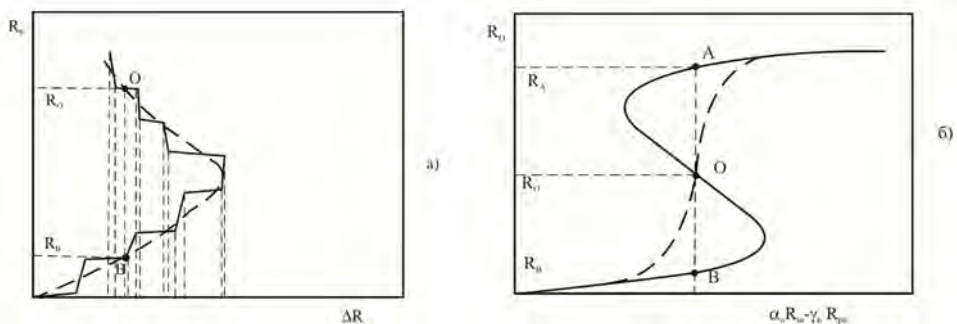


Рисунок 12.9 — Схематичне зображення ділянок бістабільності в системі технологій накопичення відходів

Зокрема, нас може зацікавити поведінка таких систем із точки зору прояву в них ентропійних процесів, пов'язаних із появою відходів як специфічної частини виробничої діяльності людини. Ще більш цікавим є завдання дослідження динаміки нерівноважних виробничих систем з урахуванням розподілу в них матеріальних потоків різного призначення — сировини, продукування, в тому числі, і найбільш актуальних для нас відходів. Причому ці потоки зручно розглядати в так званих екологічних циклах [9], розуміючи їх як умовні канали, по яких циркулюють матерія і енергія, зазнають різних змін і зберігають баланс у нерівноважних станах матерії та енергії в будь-якому їх прояві.

Колівальні процеси в складних системах, схожих з екологічними циклами, існують у різних проявах. Навіть саме існування екологічного циклу передбачає наявність періодичних або аперіодичних коливальних процесів, пов'язаних

зі зміною стану матеріальних складових циклу при проходженні по траєкторіях, переходом їх з одного стану в інший шляхом переробки, міграцією речовин як всередині, так і поза окремими циклами, втручанням у паралельні цикли і т. д. До таких процесів відноситься, звичайно ж, утворення відходів, у результаті чого з'являються більш випадкові процеси перерозподілу матеріальних потоків, що беруть участь у переробці. При цьому, чим більше система віддаляється від стану рівноважності, тим у більш складному коливальному процесі вона бере участь. Частотна характеристика такого процесу постійно ускладнюється, що створює передумови для виникнення глибоких флуктуаційних режимів. Останні є основою для послідовного входження системи в стан біфуркації, а потім і хаосу.

Беручи до уваги, що техносфера — це сильно нерівноважна система, яка однак, здатна до самоорганізації (ми спостерігаємо це постійно в ході розвитку), слід розуміти, що в ній існують певні механізми, що дозволяють уникнути небажаних невизначеностей, в тому числі і біфуркацій. Тому в багатьох випадках при вивченні проблем порушення рівноваги екологічних циклів можна говорити про проблеми неоднозначності поведінки системи в гіпотетичній формі, маючи на увазі, однак, що межа входження в такий небезпечний режим дуже очевидна і аж ніяк не гіпотетична. За цією межею стан системи описується вже іншим терміном — «хаос» — стан системи, коли ми вже не можемо відстежувати траєкторії її розвитку [13].

Структурна стійкість великих систем пов'язана з поняттям сімейств функцій, які притаманні цієї системі. Більш того, ці допоміжні функції можуть мати властивості, що підтримують, наприклад, вироджену функцію, що може з'явитися в сім'ї функцій, як дестабілізуюча або збурююча.

Поняття структурної стійкості залежить від збурень, які на неї накладаються, і від типу еквівалентності, яка від неї вимагається. Чим різноманітніший рівень збурень, що накладаються на систему, тим менш значущою є вимога до її еквівалентності. Нагадаємо, що умовою еквівалентності функцій $\varphi_1, \varphi_2 : R^n \rightarrow R$ поблизу нульової точки є дифеоморфізм $y : R^n \rightarrow R^n$, а також деякий зсув σ , такий, що в деякому околі нуля утримується $\varphi_2(x) = \varphi_1(y(x)) + \sigma$.

Наприклад, для функції $Q_m(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}mx^2$, критичні точки якої лежать на прямій лінії $x=0$ і на параболі $x^2+m=0$, область структурної нестійкості при $m \leq 0$ цілком визначена для будь-якої поведінки функції. Ця ж функція $Q_m^1(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}mx^2 + \lambda x$ при найменших збуреннях $\lambda \neq 0$ має критичні точки з рівняння $x^3 + mx + \lambda = 0$, що робить її струк-

турно стійкою, здатною підтримувати сусідню вироджену функцію (якщо та сформувалася). Прикладом може служити сімейство катастроф збірки Уїтні $W_{ab}(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ax^2 + bx$, функції яких структурно стійкі.

Таким чином, сутність структурної стійкості динамічних систем зводиться до нечутливості системи відносно накладених на неї збурень. У приложенні до катастроф можна сформулювати умови структурної стійкості як можливість малих збурень у початковій точці катастрофи при досить сильній дифеоморфній еквівалентності функцій.

Наприклад, жодна урбосистема не може бути структурно узгодженою з первинною екосистемою, в якій вона сформувалася. Проте в деякі періоди часу, наприклад, початковий або інший гомеоморфний період свого існування, коли збурюючі наслідки антропогенезу мінімальні, таке короткочасне узгодження можливе. І тоді система вважається структурно стійкою. Чим більші структурні збурення λ при даній еквівалентності, тим більш нестійка система.

Узагальненою умовою виникнення біфуркаційних змін у системі є втрата функцією так званих морсовських критичних точок на контрольній поверхні (точки $x \in R^n$ функції $\varphi: R^n \rightarrow R$, для яких існує умова $d\varphi|_x = 0$, є критичними точками). Поки критичні точки на поверхні управління залишаються морсовськими, змін біфуркації в системі не відбувається. Набор критичних точок може змінитися, наприклад, якщо хоча б одна з них стане неморсовською.

Охарактеризувати стійкість структури екологічного циклу, наприклад, на «межі хаосу» можна наступним тестом.

Введемо в систему, яка знаходиться в стабільному режимі, певну кількість екзогенних компонентів. Наприклад, у нас буде виробнича система, при якій замість початкової сировини вводиться певна кількість перероблених відходів іншого виробництва. Погодимось, що оригінальна технологія не передбачає переробки такої «сировини». Це повинно призвести до виникнення інших взаємовідношень між існуючими і новими частинами виробничої системи, формування структур, що відрізняються від раніше існуючих. Нові структури, якщо вони досить життєздатні (стійкі відносно існуючих структур), здатні конкурувати і з вихідною системою в цілому, і зі старим способом її функціонування.

Якщо вихідна система проявляє достатню резистентність до такої зовнішньої інтервенції, то нові умови функціонування системи не розвиваються, а нова компонентна база сировини або гальмується системою, або асимілюється з нею, приймаючи властивості існуючих у системі компонентів.

На практиці це означає, що зовнішні відходи можуть прийматися даною виробничою системою або відразу, або за допомогою деяких змін технологіч-

ного процесу, стаючи при цьому повноцінними компонентами сировинної бази виробництва. Або ці відходи в силу об'єктивних законів відкидаються цією виробничою системою і не змінюють своєї суті — бути непотрібними.

Але навіть якщо нові компоненти і викликані ними структурні зміни здатні пристосуватися до існуючої системи, вона в кінцевому підсумку також зазнає радикальних змін: втрачає стійкість, змінює своє функціональне призначення, а іноді і структуру. При цьому руйнується резистентність старої системи — її здатність протистояти зовнішнім впливам з боку сформованого середовища. Нова система може бути менш стійкою до них, поки не сформується новий механізм взаємодії з зовнішнім середовищем, джерелом небажаних компонентів у вигляді сировини.

Цей тест на стабільність може дати цікаві результати, якщо в системі передбачено цілеспрямоване втручання нових компонентів.

Розглянемо докладніше приклад такого втручання, яким може стати інтеграція перероблених відходів одного виробництва в інше. Важливою умовою тут є те, що утилізовані компоненти, як сировинна база для нового виробництва, повинні володіти тими ж властивостями, що і власні компоненти його сировинної бази. І в той же час вони здатні володіти рядом властивостей, які роблять їх відторгненими компонентами в даному екологічному циклі. До таких властивостей відносяться:

- наявність чужорідної структури інтегрованих компонентів у сировинній базі нового технологічного процесу. Не всі компоненти перероблених відходів мають функцію спорідненості з технологією, закладеною в новому виробництві;
- підвищена стійкість інтегрованих компонентів до нового технологічного процесу в порівнянні з компонентами власної сировинної бази;
- необхідність додаткових енерговитрат на переробку екзогенної структури сировинної бази;
- відсутність механізмів трансформації структури інтегрованих компонентів;
- зниження якості продукуючої бази технологічного процесу через відхилення в технології, пов'язаних із використанням нових компонентів.

Розглянемо випадок, коли інтегровані компоненти змінюють структуру виробничої системи. І такі зміни повністю залежать від ступеня структурної стійкості самої системи.

В кінцевому підсумку структурно стійка система здатна відбракувати екзогенні компоненти, збільшуючи за їх рахунок власну базу відходів і без зміни якості продукуючої бази. Структурно нестійка система буде сприймати зовнішнє втручання відходів інших виробництв і зазнає значних змін, щоб функціонально відповідати умовам переробки нових компонентів. Це не може не позначитися негативно на якості її виробничої бази.

Таким чином, стійкість взагалі, і, зокрема, структурна стійкість виробничих систем в екологічних циклах робить їх менш сприйнятливими до поглинання екзогенних компонентів — відходів інших галузей промисловості. І навпаки, структурно менш стабільні виробничі системи більш пристосовані до зовнішніх інтервенцій, включаючи вплив компонентів зовнішньої бази відходів.

Це означає, що при залученні в область нестійкості виробнича система стає більш пристосованою до інтервенцій зовнішніх компонентів у вигляді відходів зовнішнього виробництва. Тому область нестійкості у вигляді замкнутого ітераційного циклу представляє безумовний інтерес із точки зору параметричної установки способу утилізації зовнішніх потоків відходів.

Розглянемо механізм цієї взаємодії в рамках екологічного циклу.

Припустимо, нас цікавить розподіл деякого матеріального потоку між двома технологічними процесами, що описуються в нормальних координатах функціями $y_1(x)$ і $y_2(x)$ відповідно. Особливістю цих процесів є спільний для них потік $\{X\}$, а також хоча б одна загальна точка перетину цих функцій в даній області $x = 0,5 \div 1,0$. Це означає, що одна з функцій монотонно зменшується, а інша монотонно збільшується в цій області. Аналогічна задача була розглянута в роботі [17] для єдиної функції $y(x) = kx(1-x)$.

Відомо, зокрема, що для $k = 0 \div 1$ в області $0 \leq x_i \leq 1$ $x_i \rightarrow 0$ при $i \rightarrow \infty$ (рис. 12.10). Для тих же умов різноманітність $x_i \rightarrow x_n$, при $k > 1$. Якщо рішення x_1 і x_2 знаходяться на різних гілках параболи $y(x) = kx(1-x)$, то процес ітерації, починаючи з будь-якої точки функції, має вигляд спіралі або ступенів із кроком у напрямку одного з коренів x_n .

Існує область малих приростів $\Delta x_i \rightarrow 0$, для якої функція у дискретному вигляді є наступною:

$$x_n + \Delta x_{i+1} = f(x_n + \Delta x_i) \approx f(x_n) + \frac{df(x_n)}{dx} \Delta x_i. \quad (12.73)$$

Межа стійкості точки x_n в області $\Delta x_i \rightarrow 0$ визначається нерівністю

$$\left| \frac{df(x_n)}{dx} \right| < 1. \quad (12.74)$$

При подальшому збільшенні $k > 0$ поведінка системи пов'язана з чергуванням вершин a_j прямокутника, побудованого в процесі ітерації від початкової точки a_0 так, що ці числа пов'язані умовами $a_j = f(a_{j-1})$ та (12.48), і надають $x_{2i+1} \Rightarrow a_j$, а $x_{2i} \Rightarrow a_{2j}$. Це означає, що відображення $x_{i+1} = kx_i(1-x_i)$ знаходиться на межі стійкості, що задана деяким єдиним замкнутим циклом S^1 (рис. 12.11). Для такого циклу існує єдине критичне значення $k = \sqrt{5} + 1$.

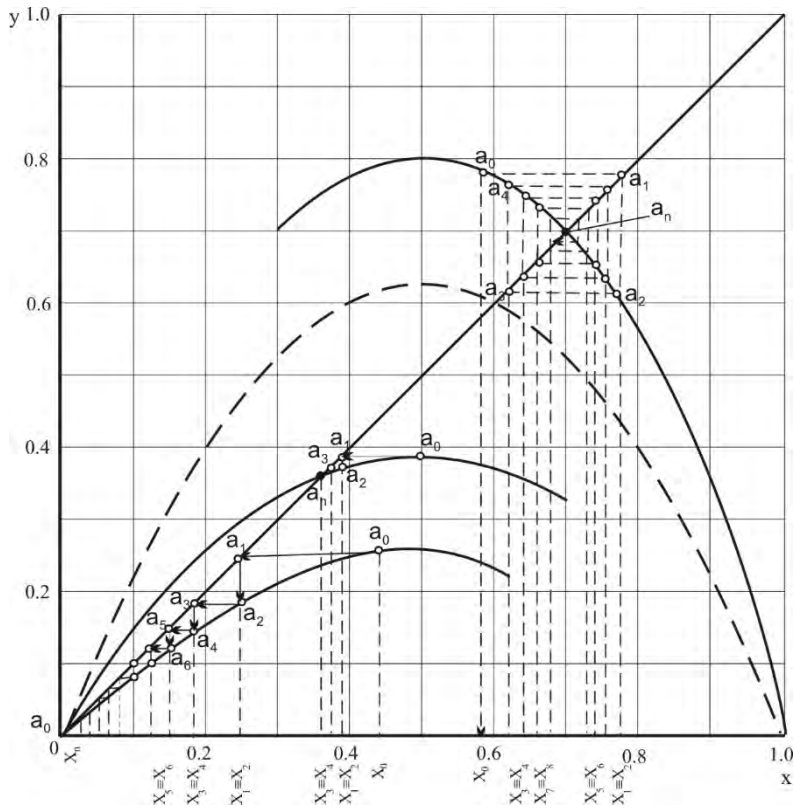


Рисунок 12.10 — Ітераційні процеси в одновимірних квадратичних відображеннях $x_{i+1} = kx_i(1 - x_i)$

При подальшому збільшенні k послідовність $\{x_i\}$ розширюється до циклу подвійної довжини (див. рис 12.11). Рішення системи x_n не втрачається, але при цьому $\left| \frac{df(x_n)}{dx} \right| > 1$. Строго кажучи, кореневе рішення a_n — нерухома точка

(див. рис. 12.10), також є циклом S^0 .

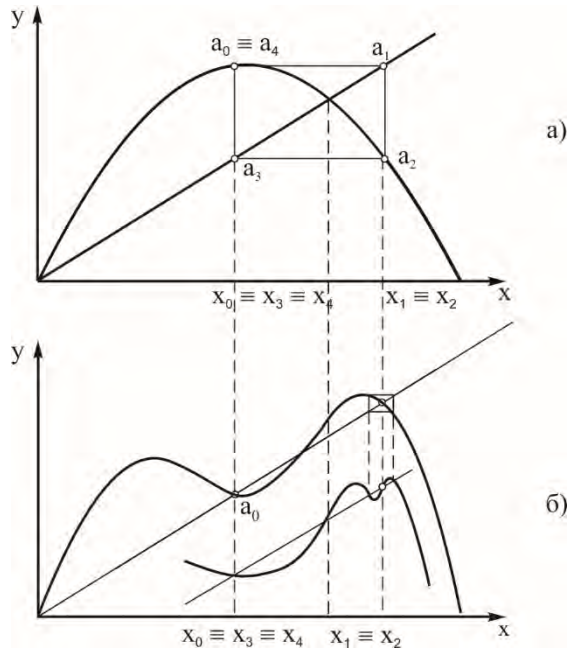
Дійсно, якщо існує цикл S^1 , то знайдуться такі значення a_1 і a_2 , для яких буде $a_1 = f(a_2)$ і $a_2 = f(a_1)$, при $a_2 > a_1$. Розглянемо функцію $\phi = x - f(x)$ у цих точках.

$$\phi(a_1) = a_1 - f(a_1) = a_1 - a_2 < 0; \quad (12.75)$$

$$\phi(a_2) = a_2 - f(a_2) = a_2 - a_1 > 0. \quad (12.76)$$

Оскільки функції $f(x)$ і $\phi(x)$ є неперервними, існує точка a_n , для якої $\phi(a_n) = 0$, а отже $f(a_n) = a_n$. Тому, точка a_n — це цикл S^0 .

Розглянемо, як вирішується ітеративна задача при об'єднанні двох функцій $y_1(x) = kx(1-x)$ і $y_2(x) = \alpha x$ для $\alpha \neq 1$ (рис. 12.12).



- а) екологічний цикл одинарний;
- б) цикл подвійної довжини

Рисунок 12.11 — Ітеративні процеси в області малих приростів для точки a_0

Умова існування одинарного циклу в системі y_1 і y_2 визначається співвідношенням

$$\frac{k}{\alpha} = 1 + \sqrt{5}.$$

Використовуючи принцип суперпозиції, для двох гладких функцій завжди можна знайти якусь функцію

$$f(x) = y_2^{-1}(y_1(x)) \rightarrow y_2^{-1} \circ y_1, \quad (12.77)$$

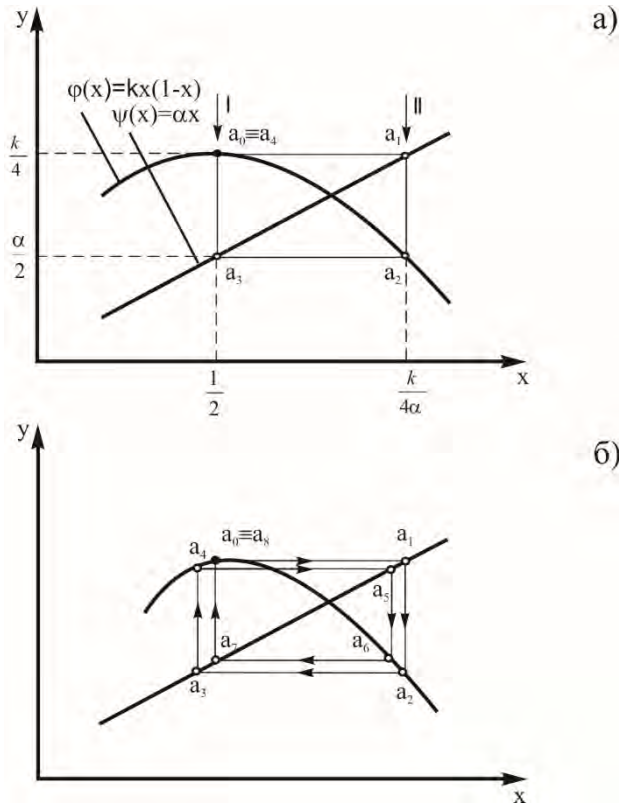
де $y_2(x)$ — монотонна функція, що має обернену монотонну функцію y_2^{-1} .

Для наших функцій це відображення має вигляд $f(x) = \frac{k}{\alpha}x(1-x)$, де

$$\frac{k}{4} < \alpha < \frac{k}{2}.$$

Знайти ітераційне рішення в області $x_i = 0,5 \div 1,0$ для функції $f(x)$ не складно [17]. Нас цікавить те з них, що вироджується в замкнуту область ітерації. Очевидно, що посилаючись на той же принцип суперпозиції, умови наявності одинарної замкнутої області ітерації можна сформулювати наступним чином:

$$x_{2n} = (y_2^{-1} \circ y_1)^n \cdot x_0. \quad (12.78)$$



а) одинарний; б) подвійний

Рисунок 12.12 — Замкнутий цикл при одновимірному квадратичному відображенні

Тут нова функція $y_2^{-1} \circ y_1$ працює як x_0 у y_2 єдина замкнута ітераційна область визначається наступним чином:

$$x_0 = 0,5;$$

$$x_2 = \frac{k}{\alpha} x_0 (1 - x_0) = \frac{k}{\alpha} \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0,5\beta;$$

$$\begin{aligned}x_4 &= \frac{k}{\alpha} x_2 (1 - x_2) = \beta^2 - 0,5\beta^3; \\x_4 &= x_0; \\\beta^3 - 2\beta^2 + 1 &= 0.\end{aligned}$$

Відношення $\beta > 0$ — це умова існування єдиної замкнутої області ітерації. Якщо $\beta \leq 0$, то замкнута ітераційна область відсутня.

Замкнута область ітерації подвійної довжини існує, якщо

$$\begin{aligned}x_4 &\neq x_0; \\x_6 &= \frac{k}{\alpha} x_4 (1 - x_4) = 2\beta^3 - \beta^4 - 2\beta^5 + 2\beta^6 - \beta^7; \beta = \frac{k}{2\alpha}; \\x_8 &= \frac{k}{\alpha} x_6 (1 - x_6) = 2\beta(2\beta^3 - \beta^4 - 2\beta^5 + 2\beta^6 - \beta^7)(1 - 2\beta^3 + \beta^4 + 2\beta^5 - 2\beta^6 + \beta^7); \\x_8 &= x_0; x_0 = 0,5.\end{aligned}$$

В цілому, одинарна замкнута область ітерації визначається умовою $x_k = x_{k+4}$, замкнута площа ітерації подвоєної довжини визначається умовою $x_k = x_{k+8}$.

Ще більш істотні зміни в бік флуктуаційних процесів нас чекають, якщо розширити сферу претензій на глобальну виробничу надсистему як споживача локальної номенклатури відходів. Іншими словами, мається на увазі державна або наднаціональна економічна система. При цьому численні потоки траєкторій «низпадають» на якісь обмежені ділянки, тим самим виділяючи в простір морфологічних ознак острівці структурно стійких видів. А самі атрактори можуть бути стоками, циклами, дивними атракторами і т. д.

Розглянемо узагальнену задачу розподілу потоку $\{X\}$ між M технологічними процесами $\varphi_m(x)$, $m = (1, 1, M)$, частина з яких в області $\{x_i > 0\}$ монотонно зменшується, а частина монотонно збільшується. Властивістю монотонності, відповідно, володіє і функція φ_m^{-1} .

Використовуючи принцип суперпозиції, напишемо нову функцію:

$$f(x) = \varphi_{m-1}^{-1}(\varphi_{m-2}^{-2}(\varphi_{m-3}^{-3}(\dots(\varphi_{m-i}^{-i}(\dots(\varphi_1(x)\dots)) \rightarrow \varphi_{m-1}^{-1} \circ \varphi_{m-2}^{-2} \circ \dots \circ \varphi_1 \quad (12.79)$$

В якості початкової точки приймемо $O(x_0, y_0)$ на кривій $\varphi_m(x)$. У загальному вигляді механізм ітерації функції $f(x)$ наступний:

– для непарних номерів

$$\{x_{2i-1} = \psi^{-1}(y_{2i-2}), \quad y_{2i-1} = y_{2i-2}\}; \quad (12.80)$$

– для парних номерів

$$\{x_{2i} = x_{2i-1}, \quad y_{2i} = \varphi(x_{2i-1})\}. \quad (12.81)$$

Теоретично можна припустити існування досить довгих замкнутих областей ітерацій з умовою $x_k = x_{k+j}$, де j — порядковий номер ітераційної циклічності.

Межа замкнутої області ітерації (ЗОІ), по суті, є границею стійкості системи. Всередині однієї замкнутої області ітерації система втрачає стійкість, переходячи в режим біфуркації з подвоєнням періоду (див. рис. 12.12). Будь-яка точка замкнутої області ітерації є тим каналом, який дозволяє відтворити зображення шляхом ітерації відображення. При русі від будь-якої початкової точки, її траєкторія після перехідного процесу притягується до одного з двох станів

ЗОІ — зовнішня або внутрішня — відтворює одне з рішень — або стабільне кореневе, або біфуркаційне розгалуження. Границею між ними є так звана «межа хаосу», область, на думку багатьох вчених [16, 17, 18, 19, 20], відповідальна за процеси самопорядкування в деструктивних системах. Тут доречна деяка аналогія між швидкістю збіжності градієнтного та випадкового методів пошуку екстремуму. У першому випадку пошук здійснюється тільки впродовж певної траєкторії, у другому — по всій області зміни змінних.

Більш складні конфігурації замкнутих областей ітерації також можуть відноситися до нестійких режимів, пов'язаних не тільки з процесами біфуркації, але і з поняттям хаосу. Адже, як показано в [17], складність ЗОІ C^N зростає для $j+1 > j$ і впорядкування замкнутої області ітерації за ступенем складності тут здійснюється в наступному порядку:

$$\begin{aligned} 3 < 5 < 7 < \dots < 3 \cdot 2 < 5 \cdot 2 < 7 \cdot 2 < \dots < 3 \cdot 2^2 < 5 \cdot 2^2 < 7 \cdot 2^2 < \dots \\ \dots < 3 \cdot 2^3 < 5 \cdot 2^3 < 7 \cdot 2^3 < \dots < 2^N \dots < 2^j < 2^{j-1} < \dots < 2 < 1. \end{aligned} \quad (12.82)$$

Така послідовність має назву — хаос Шарковського [21, 22] і описує динаміку потоків різних типів — інформаційних [19], фінансових [23], матеріальних [20, 24] тощо.

В даному випадку прикладом ітерації функцій $\varphi_m(x)$ у точці збіжності $x = \varphi(x)$ є не що інше, як ЗОІ періоду 1 (та сама одиниця в ряду Шарковського), яка характеризує стаціонарний процес у системі. Замкнута область ітерації періоду більше 1 відноситься до області нестійкості на «межі хаосу». Логічно припустити, що стан системи, для якої умова (12.80 і 12.81) не виконується, може називатися станом хаосу. Геометрично це означає розбіжність ітераційної спіралі на кінцевій функції $f(x)$.

Важливою властивістю хаотичних траєкторій є здатність із часом потрапляти в окіл будь-якої точки, що належить атрактору. Час T , необхідний для цього потрапляння, визначається серією незначних збурень, які носять експо-

ненціальний характер, і кожне з яких лише незначно змінює траєкторію. Накопичення експоненціальних змін, викликаних невеликими збуреннями, сприяє значній корекції самої траєкторії. При правильному виборі структури невеликих збурень, рішення проблеми можливе без уходу траєкторії з хаотичного атрактору. Таким чином, система на межі хаосу може бути досить керованою, вона легко реагує на зовнішні впливи, зберігаючи існуючий тип траєкторії в циклі.

Безумовно, процес управління такими системами далеко не такий простий, як коротко викладено на цих сторінках. У таких системах управління, в свою чергу, виникає додаткова різноманітність випадкових збурюючих процесів як на етапі формування вихідних даних, так і в результаті розрахункових ітерацій. Вони, в свою чергу, можуть бути самостійною причиною додаткової нестабільності в таких системах. Тому тут потрібні свої механізми фільтрації таких випадкових збурень.

ГЛАВА 13

ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

-
-
- 13.1. Систематизація знань і методологія дослідження
 - 13.2. Мінімізація відходів у технології виробництва деревного вугілля
-
-

13.1. Систематизація знань і методологія дослідження

Спробуємо звести воедино всі зазначені нами раніше причини і фактори, що впливають на процеси утворення відходів у виробничих системах (табл. 13.1). При цьому зробимо попередню спробу систематизувати ці причини за певними критеріями. А саме: згрупуємо їх як за причинно-наслідковими зв'язками, так і за зростаючим впливом кожної з причин на ефект утворення відходів. Таким чином, що результатом дії кожної попередньої причини є деякі наступні, пов'язані з нею, причини.

Структура компонентів сировинної бази (\tilde{N}_1) в першу чергу визначає склад одержуваних відходів. Всі «зайві» компоненти, які не потрібні для виробництва основного продукту, так чи інакше, навіть після певної механічної, фізико-хімічної та іншої обробки, поповнюють відпрацьовану частину виробництва. Чим більше сировини засмічено непотрібними компонентами, тим більше відходів виробничої системи. Кількісні характеристики тут дуже специфічні для конкретного виробництва і залежать від способів обробки, виду використовуваної енергії і т. д.

Таблиця 13.1 — Причини виникнення механізмів утворення відходів у виробничих системах

Позначення причини	Назва причини	Міжгрупові причинно наслідкові зв'язки		
		Механічна обробка	Теплова обробка	Хімічні перетворення
1	2	3	4	5
C_1	Структура компонентів сировинної бази. Її відповідність вимогам технологічного процесу	$E_1, E_4, S_2, S_3, S_4, \mathcal{E}_1$	$E_1, E_4, S_2, \mathcal{E}_3$	$E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7$
C_2	Неузгодженість параметрів (лінійних розмірів, ваги, фізичних властивостей і т.д.) компонентів сировини та продукційної бази виробництва	E_4, E_7, S_2, S_4	E_4, S_1	$S_1, S_2, S_4, \mathcal{E}_2$
C_3	Неузгодженість енергетичної (наприклад, хімічної) активності компонентів сировинної бази, що беруть участь у технологічному процесі	—	E_2, E_3, E_4, E_6	$E_2, E_3, S_2, S_3, E_4, E_6$
C_4	Відсутність або недостатні можливості для енергетичного перетворення сировинних компонентів на мікрорівні	E_1, E_4, S_1, S_3	E_3, S_2	E_1
C_6	Надлишковий вміст окремих компонентів у сировинній базі виробництва	E_1, E_3	E_1, \mathcal{E}_1	E_1, E_4, E_3, S_1
C_5, C_6	Наявність великих обсягів виробництва, особливо в нормативному надлишку	S_3, \mathcal{E}_1	E_1, E_5, E_7, S_4	E_1, E_4, E_7, S_3
C_7	Максимальне значення функції відторгнення компонентів сировинної бази	—	—	—
C_8	Мінімальна функція споріднення компонентів сировини і виробничих основ	—	—	—
E_1	Відсутність у системі енергетичних ресурсів, здатних перетворювати надлишкові компоненти сировинної бази	S_3, \mathcal{E}_2	S_1	S_3, \mathcal{E}_2
E_2	Відсутність у системі необхідних каналів для проходження енергії, для цілеспрямованого перетворення компонентів сировинної бази	S_1, S_2	S_1, S_2, S_3	S_1, S_3
E_3	Недостатня енергетична провідність між складовими частинами системи, що беруть участь у створенні відходів, і рештою системи	S_3, S_4, \mathcal{E}_3	S_1, S_3	S_4, \mathcal{E}_3

Закінчення таблиці 13.1

E_4	Прийняті методи зміни стану компонентів сировинної бази, а також обрані види енергії, що не допускають необхідних перетворень всіх елементів сировинної бази	–	–	S_3
E_5	Способи перетворення енергії в системі. Підвищення якості енергії в технологічному процесі призводить до збільшення відходів (енергетичних, в першу чергу) і навпаки	–	\mathcal{E}_3	$S_2, S_3,$ \mathcal{E}_3
E_6	Пряма залежність величини витрат енергії від наявності і кількості посередників-перетворювачів енергії в системі	–	S_2	S_1, S_2
E_7	Втрати енергії через її розсіювання при різних перетвореннях всередині системи	\mathcal{E}_1	$S_4, \mathcal{E}_1,$ \mathcal{E}_2	S_4, \mathcal{E}_1
S_1	Відсутність в системі мінімально необхідної кількості частин, здатних цілеспрямовано змінювати властивості або стан компонентів сировинної бази	–	–	–
S_2	Статичність або недостатня рухливість окремих частин системи призводить до «пасивної» участі компонентів сировинної бази, сприяє їх відторгненню до бази відходів	\mathcal{E}_1	–	–
S_3	Відсутність енергетичних і матеріальних ресурсів у системі для розширення функціональності технічної системи і підвищення ступеня її ідеальності	\mathcal{E}_3	\mathcal{E}_3	–
S_4	Вплив рівня експлуатаційного зносу технологічного обладнання на процеси утворення відходів	\mathcal{E}_2	$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_1$	\mathcal{E}_1
\mathcal{E}_1	Відсутність споживчої цінності у виробленої продукції	–	–	–
\mathcal{E}_2	Недостатня споживча цінність продукції, що випускається, в порівнянні з витратною вартістю при доведенні продукції до споживача	–	–	–
\mathcal{E}_3	Вплив планової собівартості основної продукції на якість сировинної бази і номенклатуру відходів	–	–	–

Неузгодженість параметрів компонентів сировинної і виробничої баз (C_2) є наступною наслідковою причиною, що виникає з (C_1). Структуру компонентів сировинної бази можна згрупувати за різними характеристиками і параметрами. Дуже важливим і незаперечним фактором у даному випадку є узгодженість параметрів, за якими ці особливості відрізняються при угрупованні компонентів. Це можуть бути розузгоджені лінійні розміри компонентів сировини і готової продукції (наприклад, при механічній обробці), або температурні межі їх обробки, інші характеристичні та фізичні властивості цих компонентів, які роблять їх «необхідними» або «непотрібними» в структурі технологічного процесу.

Дуже важливим показником узгодженості компонентів сировини і виробничих баз є їх енергетична активність (C_3). Іншими словами, мова йде про можливість окремих компонентів сировинної бази бути здатними до необхідної переробки за допомогою тих видів енергії, які задіяні в даному технологічному процесі. Наприклад, наявність високотугоплавких компонентів у сировині, що піддається в технологічному процесі термічній обробці, сприяє їх безумовному переходу в категорію відходів. Або, якщо такі компоненти входять до складу готового продукту, його якість і споживчі властивості значно знижуються, сприяючи їх переходу в розряд відходів якщо не відразу після виробництва у вигляді бракованої продукції, то через короткий експлуатаційний період, як невиробничі відходи. І, як наслідок, виникає причина (C_4), пов'язана з неможливістю або недостатністю ресурсів у системі для енергетичних перетворень окремих компонентів даної сировинної бази.

Однак, і самі по собі, «потрібні» компоненти сировинної бази виробничої системи можуть поповнювати її відхідну частину. Для цього знадобиться лише певний їх надлишок, який не передбачений технологічними умовами. Через низку причин такий надлишок не може бути перероблений в умовах даного технологічного процесу і не може бути переведений у розряд готової продукції. Ця причина позначається як (C_5) і є логічним наслідком попередньої причини.

Наступна причина (C_6) в причинно-наслідковому ряду пов'язана зі збільшенням обсягів виробництва, його інтенсифікацією. Це пов'язано з більш інтенсивними надходженнями потоків сировини, великими обсягами її переробки і пропорційним збільшенням відхідної частини. Це очевидна залежність, яка не вимагає особливих пояснень. Кількісні показники носять переважно характер пропорційних залежностей.

І в кінці цього логічного ряду є дві взаємодоповнюючі причини, які безпосередньо впливають, як слідства з (C_5) і (C_6). Вони пов'язані з поняттями *функцій* відторгнення (причина C_7) і спорідненості (причина C_8) компонентів сировинної і виробничої бази, а також бази відходів будь-якого виробництва. Чим більш істотні фактори п'ятої і шостої причин, тим вищий показник відторгнення компонентів сировинної бази в даному технологічному процесі і тим нижча спорідненість компонентів сировини і готової продукції. І навпаки.

Слід зазначити, що в таблиці кожна наступна причина, що впливає на утворення відходів, є прямим або опосередкованим наслідком і впливає з попередньої причини. Це ще раз підкреслює важливість і об'єктивність причин, що визначають механізми утворення відходів у виробничих системах.

Розглянемо другу групу виявлених причин, пов'язаних з утворенням відходів. Це причини, в основі яких лежить енергія технологічного (але не тільки) процесу (ланцюжок $E_1 \rightarrow \dots \rightarrow E_7$).

У тому випадку, якщо сировина будь-якого виду не зазнає енергетичного впливу, або цей вплив замалий, і при цьому не змінюється її фізичний, агрегатний стан, конфігурація, розміри або будь-які інші параметри стану, що відрізняють готовий продукт від сировини, такі компоненти сировинної бази входять до складу відхідної частини виробництва. Це стає можливим, якщо в системі відсутні енергетичні ресурси, здатні перетворити всі компоненти сировинної бази (причина E_1), або відсутні необхідні канали проходження енергії, спрямованої на перетворення компонентів сировинної бази (причина E_2), або спостерігається недостатня енергетична провідність між окремими частинами системи, що бере участь у перетворенні компонентів сировинної бази (причина E_3).

Ця очевидна послідовність взаємопов'язаних причин має продовження у вигляді причини E_4 , пов'язаної з невідповідністю обраних видів енергії способам зміни стану компонентів сировинної бази. При цьому існують також або компоненти сировини, які не переробляються необхідним чином, або частково перероблені компоненти, властивості яких далекі від зазначених цією технологією і тому входять до складу відходів. Тут можливий і третій варіант, якщо в складі сировини існують сторонні компоненти, які взагалі не підлягають переробці в рамках даної технології. Вони апріорі можуть бути включені в базу відходів.

Однією з відомих особливостей деяких технологічних процесів є необхідність використання в технологічному процесі більш якісної і більш дорогої енергії, яку отримують безпосередньо в ході даного технологічного процесу. Зокрема, це може стосуватися відомих способів виробництва електроенергії на теплових електростанціях, атомних електростанціях, в технологічних процесах із використанням фізико-хімічних явищ, наприклад, екзотермічних реакцій в якості енергоносіїв та ін. При цьому неодмінно відбудуться великі втрати енергії, пов'язані з її розсіюванням. Тому таку причину (E_5) можна вважати наслідком, що впливає з попередньої причини (E_4) в причинному ряду і, звичайно ж, сприяє утворенню відходів.

Перетворення енергії в системі в цілому є відходоутворюючим фактором, тому що в чисто термодинамічному сенсі будь-які з цих перетворень пов'язані зі збільшенням ентропії системи. Тому, чим менше перетворювачів зовнішньої енергії для системи, тим меншими можуть бути втрати енергії. Ця причина (E_6) має своє особливе місце в причинному ряду і повинна, в свою чергу, бути основою для подальшої очевидної причини утворення відходів (E_7), пов'язаної

з безпосередньою дією другого закону термодинаміки — зростанням ентропії системи при будь-яких змінах її енергетичного стану.

Наступна група причин у системному ряді включає в себе так звані структурні причини S_i (в даному випадку $i = 1 \div 4$), кожна з яких однозначно може визначати процеси утворення відходів. Назвемо першу з них (S_1). Відомо, що технічна система є самодостатньою, якщо містить мінімальну кількість деталей, що забезпечують її працездатність. Будь-яка раціональна додаткова кількість деталей сприяє розширенню можливостей системи, але і потребує додаткової енергії. Відсутність будь-якого специфічного елементу системи призводить до того, що певна частина компонентів сировини не зможе отримати необхідну енергію переробки і не буде володіти властивостями, які роблять їх товарною продукцією. Ця частина матеріалу, що перероблюється таким чином, може бути відправлена у відходи.

Недостатня динамічність або низька активність окремих складових системи (причина S_2) також може привести до того, що окремі компоненти сировинної бази не отримують достатньої переробки і складуть відхідну частину матеріалів системи. І навпаки, чим динамічніша система в плані перетворення енергії, по відношенню до переміщення компонентів сировини, по відношенню до їх рухливості, тим менше процесів утворення відходів розвивається в системі.

Наступною причиною утворення відходів, з числа структурних, є відсутність або недостатність енергетичних і матеріальних ресурсів, які могли б бути використані для підвищення ступеня ідеальності системи, розуміючи під останнім мінімальність утворення відходів (причина S_3). Ця причина є очевидним наслідком перших двох причин і, в свою чергу, є підставою для розмов про четверту причину (S_4), яка полягає в очевидному розвитку відходоутворюючих процесів у тому випадку, якщо експлуатаційний знос обладнання перевищує відомі межі.

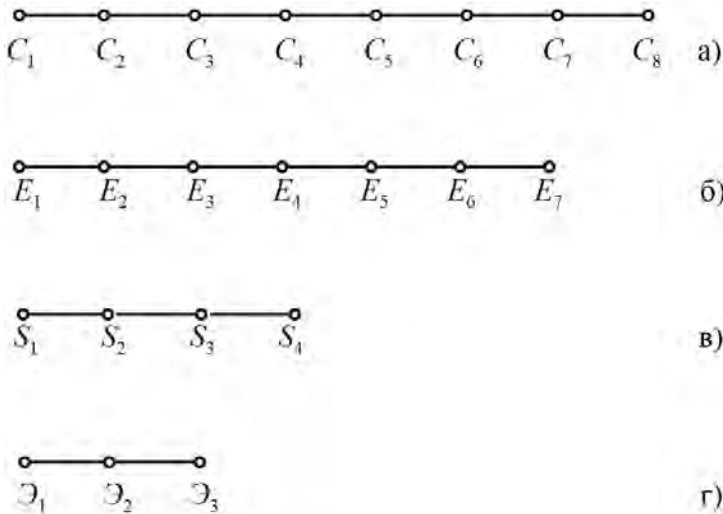
І, нарешті, останній ряд причин пов'язаний зі зміною економічного стану і споживчих властивостей окремих компонентів матеріальної бази або частин виробничої системи (ланцюжок причин $\mathcal{E}_1 \rightarrow \mathcal{E}_2 \rightarrow \mathcal{E}_3$). До них відноситься перша з очевидних причин (\mathcal{E}_1), яка полягає у відсутності механізмів надання споживчих властивостей частині вторинної сировини, яка тим самим автоматично переходить у розряд відходів даного виробництва. Далі йде не менш очевидна причина (\mathcal{E}_2), яка показує, що якщо випускається якась продукція, споживчі якості якої нас повністю не задовольняють (наприклад, брак), то і ця продукція може поповнити базу відходів даного виробництва. Остання причина в даному ряду (\mathcal{E}_3) визначає взаємозв'язок між якістю сировинної бази і структурою відходів конкретного виробництва, яка визначається через планові показники собівартості основної продукції.

Таким чином, ми бачимо добре структуровані ряди причинно-наслідкових зв'язків, що визначають дію механізмів утворення відходів у виробничих системах, виходячи з особливостей цього об'єктивного явища, що має місце у всіх

видах виробничої діяльності. На рис. 13.1 наводиться діаграма відносин у цих чотирьох групах:

- зі структурою і властивостями сировинної бази;
- причинами енергетичного характеру;
- причинами чисто структурного характеру;
- економічними причинами.

Всі вони можуть бути представлені лінійними графами, кожна наступна вершина яких з'єднана з попередньою лінійними ребрами. Така послідовна залежність, мабуть, буде загальною для будь-якого виробничого процесу, оскільки ці групи причин для них є універсальними. Це не означає, що такі групи причин обмежують обсяг знань в області механізмів дії процесів утворення відходів. Проте це об'єктивний ряд, характерний для переважної більшості досліджуваних виробничих систем.



- а) стан сировинної бази; б) показники енергетичного стану системи;
в) структурні показники системи; г) економічні показники системи

Рисунок 13.1 — Схема причинно-наслідкових зв'язків, що забезпечують механізми утворення відходів за групами причин

Звернемося тепер до причинно-наслідкових зв'язків, характерних для міжгрупових причин. Як показала практика, систематизація таких відносин не може бути однозначною для різних груп виробничих процесів. Так, якщо скласти схожі схеми взаємозв'язку виробничих процесів, пов'язаних, наприклад, з механічною обробкою матеріалів, термічною обробкою або хімічними перетвореннями (рис. 13.2, рис. 13.3 і рис. 13.4), кожна з них має істотні відмінності. Такі схеми дозволяють прогнозувати ті чи інші варіанти механізмів утворення відходів у відповідних технологіях.

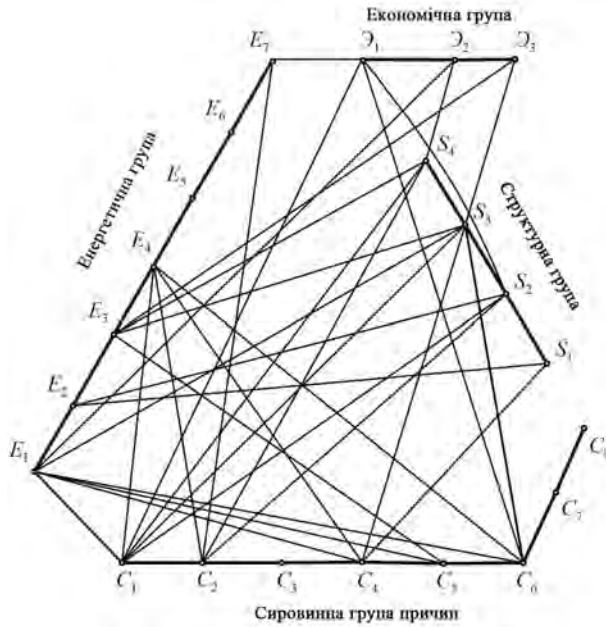


Рисунок 13.2 — Схема міжрівневих причинно-наслідкових зв'язків, що забезпечують механізми утворення відходів при механічній обробці

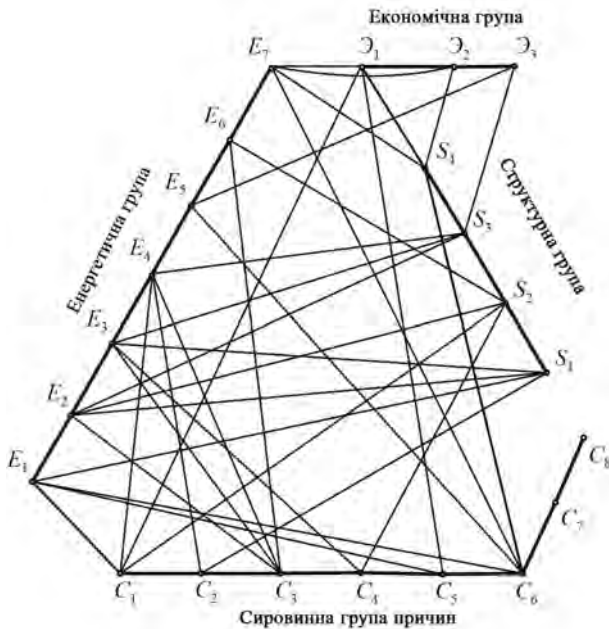


Рисунок 13.3 — Схема міжрівневих причинно-наслідкових зв'язків, що забезпечують механізми утворення відходів при термічній обробці

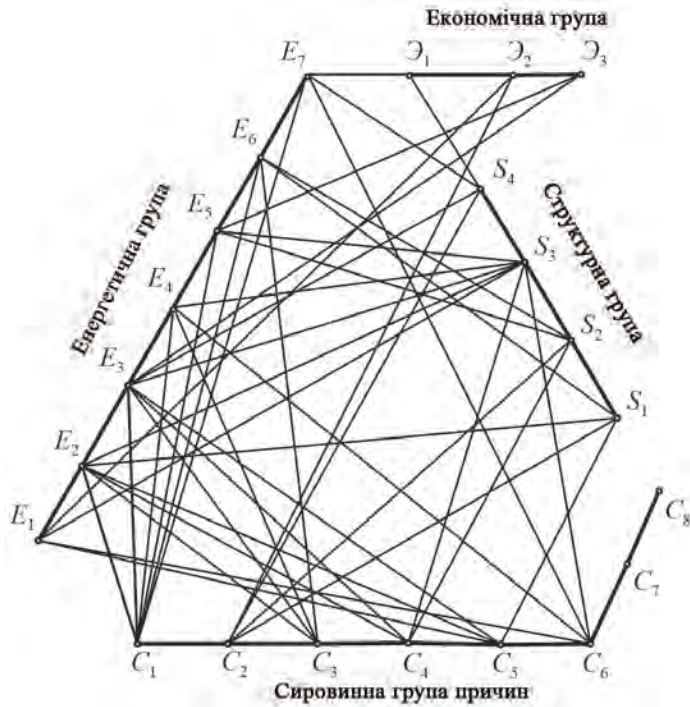


Рисунок 13.4 — Схема міжрівневих причинно-наслідкових зв'язків, що забезпечують механізми утворення відходів при хімічних перетвореннях

Наприклад, ланцюжок міжгрупових причин при механічній переробці сировини у вигляді формули $C_5 \rightarrow E_1 \rightarrow S_3 \rightarrow Э_3$ в реальному вигляді означає наступний варіант реалізації механізму утворення відходів.

Формула звучить так. Перевищення вмісту сировини (причина C_5) при відсутності достатнього енергозабезпечення (причина E_1) і неможливості розширення і використання інших ресурсів системи (причина S_3) з метою переробки надлишкової сировини, призводить до того, що у виробничій системі апріорі плануються відходи у вигляді непереробленої сировини.

На практиці цей механізм утворення відходів можна віднести до будь-яких процесів різання металу. Але, як буде показано далі, він не один. Можуть бути й інші варіанти таких механізмів щодо технології різання металу.

Виділимо одну з відомих формул $C_2 \rightarrow E_4 \rightarrow S_3 \rightarrow Э_3$ для термічної обробки сировини. Вона наголошує: відсутність узгодженості в параметрах теплової роботи певної технічної системи (причина C_2) призводить до того, що порушується енергетична провідність між окремими частинами системи (причина E_4), і в результаті система втрачає додаткові ресурси для необхідних енергетичних перетворень компонентів сировинної бази (причина S_3), і, таким чином, всі витрати, пов'язані з «неякісною, неефективною» переробкою тієї частини сировини,

яка з перерахованих вище причин перейшла в категорію відходів, переносяться на собівартість основного продукту (причина \mathcal{E}_3).

Наприклад, якщо за неузгоджений параметр системи взяти температуру плавлення різних (в тому числі вогнетривких) компонентів сировинної бази, то при даній температурі технологічного процесу нагріву сировини розплаву належить тільки частина компонентів сировинної бази. Решта більш вогнетривких компонентів, що входять до складу сировини, явно не підлягає подальшій переробці в даному технологічному процесі і може становити відхідну частину виробництва.

Ще один приклад з хімічної взаємодії. Формула $C_3 \rightarrow E_2 \rightarrow S_4 \rightarrow \mathcal{E}_1$ говорить, що неузгодженість хімічної активності між окремими компонентами сировинної бази неминуче призводить до зменшення кількості енергетичних каналів, по яких можлива хімічна взаємодія. Як наслідок, відбувається вимушене штучне підвищення інтенсивності технологічного процесу і підвищений експлуатаційний знос обладнання. При цьому технологічні втрати (енергетичні та матеріальні) можуть збільшуватися понад об'єм неактивної частини сировини, яка не набуває споживчої цінності і не має можливості перейти в розряд товарної продукції.

Якщо схеми міжгрупових причинно-наслідкових зв'язків представити у вигляді графів, то видно, що складова зв'язності кожної вершини цих графів (табл. 13.2) приймає тільки парне значення. Причому це число неоднакове для різних видів впливу в процесі виробництва. Складова зв'язності тут може грати роль своєрідного опосередкованого вагового коефіцієнта в кожній вершині. Такий коефіцієнт показує здатність кожної конкретної причини до розвитку міжгрупового причинно-наслідкового зв'язку, а значить, визначає можливості цієї групи причин, її значення в механізмах утворення відходів, можливість впливу на інші причини.

Внутрішньогрупові причинно-наслідкові зв'язки у всіх групах мають практично однакову компоненту зв'язності, що дорівнює двом. Якщо припустити, що на даному етапі дослідження ми ще не можемо з упевненістю сказати про змістовну повноту сукупності розглянутих причин, то це означає, що крайні причини з початковим і останнім показниками можуть мати продовження і обов'язкову зв'язність, що також дорівнює двом.

Парність складових зв'язності можна пояснити властивостями безперервності і послідовності матеріальних потоків, що беруть участь у виробничих процесах. Будь-яку причину, що впливає на зміни матеріального потоку, можна представити як вузол у деякому екологічному циклі. У вузлі потік трансформується відповідно до певних правил і закономірностей, маючи різні параметри на вході і виході вузла.

Нас також можуть зацікавити загальні міжгрупові зв'язки, які характерні для всіх груп причин. Як показують результати досліджень, таких зв'язків всього п'ять (табл. 13.3). Виділимо їх в окремий блок. Їх загальна відмінність полягає в тому, що такі зв'язки кінцеві і не мають подальшого продовження в своїй групі. Кожен з цих зв'язків може відображати окремий механізм утворення відходів.

Таблиця 13.2 — Складові зв'язності графа міжгрупових причинно-наслідкових зв'язків, що забезпечують дію механізмів утворення відходів

Позначення причини	Складова зв'язності		
	Механічна обробка	Термічна обробка	Хімічні перетворення
C_1	6	4	6
C_2	4	2	4
C_3	0	4	4
C_4	4	2	4
C_5	2	2	4
C_6	4	4	4
C_7	0	0	0
C_8	0	0	0
E_1	6	4	4
E_2	2	4	6
E_3	4	4	6
E_4	4	4	4
E_5	0	2	4
E_6	0	2	4
E_7	2	4	4
S_1	2	4	4
S_2	4	4	4
S_3	6	4	6
S_4	4	4	4
\mathcal{E}_1	4	4	2
\mathcal{E}_2	2	2	2
\mathcal{E}_3	2	2	2

Наприклад, взаємозв'язок (C_1E_1), який говорить, що якщо методи перетворення існуючої структури компонентів сировинної бази, а також використовувани для цього види енергії не дозволяють перетворити кожний з них у корисні продукти, то такі компоненти явно відбраковуються як відходи. Прикладом можуть служити нерозчинні суспензії в складі технічної кухонної солі, використовувани в технології приготування концентрованого розчину солі для засолювання продуктів. Технологією приготування такого розчину однозначно не передбачаються джерела енергії такої потужності, щоб ці суспензії повністю розчинялися. Їх переробка відсутня, а тому вони перетворюються на відходи.

Таблиця 13.3 — Узагальнені міжгрупові причинно-наслідкові зв'язки для механічної, термічної обробки та хімічного перетворення

Позначення зв'язків	Пояснення причинно-наслідкового механізму
C_1E_1	У виробничій системі спостерігається надлишок сировини і відсутня енергія, необхідна для його перетворення. Ці надлишки стають відходами
C_1E_4	Структура компонентів сировинної бази така, що способи їх перетворення, а також використовувані для цього види енергії не дозволяють перетворити кожний з них у корисний продукт, і вони відбраковуються як відходи
E_2S_1	Чим більше продукції вироблено, тим більше відходів, для переробки яких не вистачає енергетичних ресурсів всередині самої системи
E_2S_1	Складність доступу енергії до окремих компонентів сировини обумовлена в першу чергу відсутністю в технічній системі мінімально необхідних частин, що забезпечують цей доступ
$E_7\mathcal{E}_1$	Це один з найбільш важливих механізмів відходоутворення: ентропійні витрати енергії в будь-якій виробничій системі ніколи не можуть мати споживчу цінність

Настільки ж самодостатнім є той зв'язок, який відображає розуміння надмірності матеріалів у сировинній базі або неможливість переробити весь спектр компонентів цієї бази за допомогою існуючих джерел енергії, і отже, вони йдуть у відходи.

Останній з цих зв'язків в табл. 13.3, а саме ($E_7\mathcal{E}_1$) однозначно пояснює, що в будь-якій виробничій системі існує певний мінімум утворення відходів за рахунок чисто ентропійних процесів. Цим підтверджується один з головних постулатів другого закону термодинаміки: енергія розсіювання, що має місце в будь-якій відкритій системі (причина E_7), не може бути зібрана воедино і ніколи не отримує якості споживчої вартості або технологічної ефективності (причина \mathcal{E}_1).

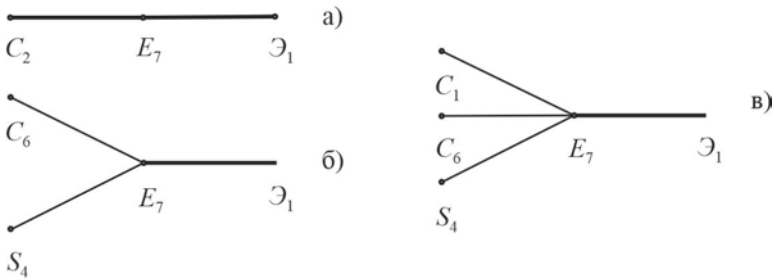
Розглянемо докладніше цей міжгруповий причинно-наслідковий зв'язок системи в контексті інших її зв'язків (рис. 13.5). Загальна кількість причин, функціонально пов'язаних із вихідною формулою ($E_7\mathcal{E}_1$), дорівнює 4 (табл. 13.4). А якщо звернути увагу на те, що з цих причин перші дві (C_1 і C_2) взаємозалежні, то привертає увагу наступна закономірність.

Описуваний граф G_3 (рис. 13.5) являє собою умовне об'єднання графів G_1 і G_2 . Це означає, що його вершини такі, що $G_3^0 = G_1^0 \cup G_2^0$, а ребра $G_3^1 = G_1^1 \cup G_2^1$. Таким чином, побічно підтверджується, що механізми утворення відходів, які визначають їх мінімум при хімічній переробці сировини, включають до свого складу одночасно і механізми утворення відходів, характерні для термічної і механічної переробки сировини.

Таблиця 13.4 — Матриця інцидентності для формули $E_7\mathcal{E}_1$

Вид переробки сировини	C_1	C_2	C_6	E_7	S_4	\mathcal{E}_1
Механічна	0	1	0	1	0	1
Теплова	0	0	1	1	1	1
Хімічна	1	0	1	1	1	1

Вплив причин першої групи (C_j) у формулі ($E_7\mathcal{E}_1$) очевидний, якщо розуміти роль структури компонентів сировинної бази (причини C_1) і роль фактору неузгодженості параметрів цих компонентів (причини C_1) у впливі на втрати енергії в цілому і безповоротні втрати енергії розсіювання зокрема. Ці основні механізми, які присутні практично у всіх видах переробки сировини, і, мабуть, є визначальними при оцінці мінімуму утворення відходів у будь-якій виробничій системі.



а) для механічної обробки сировини; б) для термічної обробки сировини;
в) для хімічної переробки сировини;

Рисунок 13.5 — Схема міжрівневих причинно-наслідкових зв'язків при реалізації формули $E_7\mathcal{E}_1$

Вплив надлишкових обсягів виробництва (причина C_6) на втрати енергії, пов'язані з розсіюванням енергії, незалежно від виду переробки, також є домінуючою причиною подальшого прояву механізму типу $E_7\mathcal{E}_1$, тобто утворення відходів у вигляді енергії, яка ніколи не підлягає використанню — енергії розсіювання.

Міжгрупові причинно-наслідкові зв'язки для двох груп причин наведені в таблиці 13.5 без докладного пояснення. Читач може зробити це сам. Наприклад, узагальнений причинно-наслідковий зв'язок, виражений формулою $C_1\mathcal{E}_1$, говорить: структура компонентів сировинної бази може бути такою, що деякі з них при механічній або термічній обробці не набувають властивостей споживчої вартості і відправляються у відходи. Це може бути металева стружка при токарній обробці деталей, це можуть бути окремі частини електричних ланцюгів, що згоріли при короткому замиканні, це може бути нерівномірно розплавлений залізорудний концентрат і т. д.

Таблиця 13.5 — Узагальнені міжгрупові причинно-наслідкові зв'язки для окремих двох груп причин (узагальнені зв'язки для всіх трьох груп вказані в круглих дужках)

Механічна та теплова обробки	Механічна та хімічна обробки	Теплова та хімічна обробки
C_1E_1	(C_1E_4)	(C_1E_4)
(C_1E_4)	C_2S_2	C_2S_1
$C_1\mathcal{E}_1$	C_2S_4	C_3E_3
C_1S_2	C_4S_3	C_3E_3
C_2E_4	(C_5E_1)	C_3E_4
(C_5E_1)	C_5E_5	C_3E_6
(C_6E_1)	(C_6E_1)	C_4E_3
E_2S_1	C_6E_4	C_4S_2
E_2S_2	C_6S_3	(C_5E_1)
E_2S_3	E_1S_3	(C_6E_1)
$(E_7\mathcal{E}_1)$	$E_1\mathcal{E}_2$	C_6E_7
$S_3\mathcal{E}_3$	$(E_2S_1)E_3S_4$	(E_2S_1)
$S_4\mathcal{E}_2$	$E_3\mathcal{E}_3$	E_2S_3
	$(E_7\mathcal{E}_1)$	E_4S_3
		$(E_5\mathcal{E}_3)$
		E_6S_2
		E_7S_4
		$(E_7\mathcal{E}_1)$
		$S_4\mathcal{E}_1$

Формула (C_3E_3) для одночасної термічної і хімічної обробки означає, що хімічна неузгодженість або невідповідність за окремими тепловими параметрами серед компонентів сировинної бази сприяє зниженню енергетичної провідності між окремими компонентами, знижує ефективність їх взаємодії (хімічної, фізико-хімічної, теплової), ускладнює отримання готових виробів з сировини, сприяє видаленню у відходи не прореагованих компонентів. Наприклад, це рівноважний стан хімічного середовища при надмірній кількості одного з хімічних агентів, насичені розчини при фіксованій температурі, погіршення енергетичних перетворень компонентів сировинної бази при недостатньому їх нагріванні.

У формулі $E_1\mathcal{E}_2$ для механічної та хімічної переробки сировини одним з реальних варіантів механізму утворення відходів може бути наступне. Відсутність або недолік енергетичних ресурсів, здатних переробляти зайві (якісно або

кількісно) компоненти сировинної бази, призводить до того, що ці компоненти не набувають властивостей споживчої цінності і відбраковуються у відхідну частину продукування. Яскравим прикладом тут є утворення усадкових порожнин при охолодженні ливарної продукції і подальшому видаленні (обрубанні) прибутку. Відбракований усадочний метал йде у відходи або у переробку.

Такі формули зручні для вивчення механізмів утворення відходів на будь-якому конкретному виробництві, з використанням чітко визначених технологій переробки сировини.

Емпірично визначившись зі способом переробки сировини і виявивши хоча б одну з очевидних причин, через які в системі утворюються відходи, можна в подальшому по системному ланцюжку встановити інші типові причини і сформулювати основні принципи і механізми утворення відходів для даного виду виробництва.

Спробуємо зробити це, наприклад, для технології механічної обробки деталі на токарному верстаті. Очевидною причиною утворення відходів у вигляді стружки є надмірний вміст металу в заготівлі (причина C_5). Розглянемо далі схему причинно-наслідкових зв'язків для чисто механічної обробки, починаючи з причини (C_5) (див. рис. 13.2). Отримуємо дві досить розвинені схеми (рис. 13.6). Прочитаємо першу з них.



Рисунок 13.6 — Варіант механізму формування стружки в технології токарної обробки деталі

Надмірний вміст компонентів сировинної бази (причина C_5) і відсутність видимих енергетичних ресурсів у системі для їх переробки (причина E_1) при-

зводять до того, що одержувана стружка не має достатньої споживчої цінності. При цьому в системі відсутні додаткові ресурси (причина S_3), щоб забезпечити цій відбракованої стружці споживчу привабливість. Це означає, що, взявши за сировину механічну заготовку надлишкового розміру, ми задалегідь вводимо в кошторис витрат певні витрати на формування і обслуговування отриманої стружки у вигляді планових відходів.

У другому випадку механізм утворення відходів також може ґрунтуватися на причині (E_3), маючи на увазі під недостатньою енергетичною провідністю опосередкований параметр, наприклад, швидкість різання на верстаті. Якщо недостатньо ресурсів для збільшення швидкості різання, а також для розширення функціональних можливостей верстата (причина S_3), то ми знову переходимо до результативної причини (\mathcal{E}_3). Якщо ми маємо справу зі зношеним верстатним обладнанням (причина S_4), то маємо результат (\mathcal{E}_2), або просто брак деталей, що виточені.

Таким є, як перше наближення, механізм утворення відходів стружки.

Відзначимо лише, що розвиток механізмів утворення відходів йде в напрямку вектору $C \rightarrow E \rightarrow S \rightarrow \mathcal{E}$, тобто від причин, пов'язаних з особливостями сировинної бази виробництва, до причин енергетичного характеру і потім до причин структурного, а потім і економічного характеру. В цьому випадку користувач змушений емпірично та однозначно знайти першопричину, пов'язану з проблемами сировини. Дана схема формування механізму утворення відходів, на наш погляд, є найбільш зручною, оскільки структура і властивості компонентів сировинної бази будь-якого виробництва є найбільш очевидними з точки зору утворення відходів. Однак ця схема не єдина. Має право на існування, наприклад, формула $E \rightarrow C \rightarrow S \rightarrow \mathcal{E}$, коли емпіричну першопричину слід шукати серед причин енергетичного характеру, а інші причини повинні бути для неї наслідками. Крім того, одна і та ж формула може повторювати причини однієї і тієї ж групи, наприклад $C \rightarrow E \rightarrow S \rightarrow E \rightarrow \mathcal{E}$

Нижче ці положення будуть пояснені на прикладі технології прокатно-штампувального виробництва. Виробничий процес спрямований на виготовлення ряду готової продукції (табл. 13.6). При цьому існує чітко визначена номенклатура відходів.

Баланс основних матеріальних потоків, що розглядаються, становить:

- за потоком сировини — 323 т на рік;
- за продукційним потоком — 208,7 т на рік;
- в перерахунку на потоки відходів — 112 т на рік.

Рівень небалансу становить 2,3 т на рік і включає переважно невраховані потоки сировини: залишок потоку за попередній період; перевищення норм використання фарбувальних матеріалів, уайт-спіриту, а також стандартної бази відходів: відходів вторинного рівня відбраковування, парів фарбування та уайт-спіриту.

Таблиця 13.6 — Загальна характеристика річної виробничої програми з виробництва окремих видів прокату і штампувальної продукції

№	Назва продукту	Сировинна база по металу, т	Планове виробництво, т	Номенклатура відходів
1	Лопата копальна	125,0	78,1	1. Первинна металообрізка.
2	Лопата совкова	116,4	80,4	2. Фігурна металообрізка.
3	Пробка	15,8	8,4	3. Бракована продукція.
4	Петлі дверні, 130 мм	52,77	31,0	4. Уайт-спірит.
5	Сковорода побутова	15,0	10,8	5. Лак рідкий. 6. Лак (пари)

Технологія передбачає підготовку металевого листа до різання, розкрій листа на мірні довжини, первинне і вторинне штампування об'ємного профілю виробу, штампування вигину, пробивне штампування заготовки, знежирення поверхні заготовки, фарбування виробів шляхом занурення їх у ванну з барвником, сушку виробів. У першій половині технології ми маємо справу з чисто механічними процесами, у другій — з термічними (сушка).

Розглянемо одну з основних причин появи такого відходу, як первинна обрізка металу — відповідність структури компонентів сировинної бази вимогам технологічного процесу (C_1). За схемою механічної обробки (рис. 13.2) запишемо формули, які дозволять сформулювати основні механізми утворення відходів на даному типі виробництва. Аналогічні формули будуть записані і для інших видів відходів, маючи на увазі, що фігурна обрізка металу відноситься до механічної обробки, лак — до термічної обробки, а уайт-спірит — до хімічної обробки (табл. 13.7).

Таким чином, всі причини утворення відходів, пов'язані з означеними видами відходів, стають систематизованими. Отримані формули мають графічну інтерпретацію (рис. 13.7). Тут вказуються тільки міжгрупові зв'язки причин. Серед повторюваних посилань тільки $E_7\mathcal{E}_1$, $S_4\mathcal{E}_2$ та $S_3\mathcal{E}_3$.

Розглянемо окремі фрагменти варіанту отриманого механізму утворення відходів.

Для механічних відходів очевидним є наступний ланцюжок причин. Неузгодженість параметрів компонентів сировинної і виробничої бази C_2 , недостатнє енергетичне забезпечення процесів, пов'язаних з переробкою компонентів сировинної бази (по каналах проходження енергії, по енергетичних ресурсах, по енергетичній провідності між окремими частинами системи, по видах енергії в системі), а далі, через структурні причини в сторону економічної групи \mathcal{E}_2 і \mathcal{E}_3 . Крім того, наявні в системі енергетичні ресурси, а саме: можливості штампувальних пресів, згинально-штампувальних автоматів, — недостатні для обробки отриманого обрізу

для подальшого використання в якості продукції. В результаті маємо ту частину сировинної бази, яка через нестачу енергетичних і матеріальних ресурсів пасивно бере участь у технологічному процесі і відторгається в базу відходів.

Таблиця 13.7 — Основні формули механізму утворення відходів при виробництві окремих видів прокатно-штампувальної продукції

Вид відходів	Формули утворення відходів
Первинна металева обрізка (мехобробка)	$C_1 \rightarrow E_4; C_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \mathcal{E}_1; C_1 \rightarrow E_1 \rightarrow S_3 \rightarrow \mathcal{E}_3;$ $C_1 \rightarrow S_4 \rightarrow \mathcal{E}_2; C_1 \rightarrow E_1 \rightarrow \mathcal{E}_2;$
Фігурна металева обрізка (мехобробка)	$C_2 \rightarrow E_4; C_2 \rightarrow E_7 \rightarrow \mathcal{E}_1; C_2 \rightarrow S_2 \rightarrow \mathcal{E}_1$
Бракована продукція (мехобробка)	$C_2 \rightarrow E_4; C_2 \rightarrow E_7 \rightarrow \mathcal{E}_1; C_2 \rightarrow E_1 \rightarrow S_4 \rightarrow \mathcal{E}_2;$
Лак рідкий, пари (теплова обробка)	$C_4 \rightarrow E_3 \rightarrow S_1; C_4 \rightarrow E_3 \rightarrow S_3 \rightarrow \mathcal{E}_3; C_6 \rightarrow E_5 \rightarrow \mathcal{E}_3;$ $C_6 \rightarrow E_7 \rightarrow \mathcal{E}_1; C_6 \rightarrow E_7 \rightarrow \mathcal{E}_2; C_6 \rightarrow S_4 \rightarrow \mathcal{E}_1;$ $C_6 \rightarrow S_4 \rightarrow \mathcal{E}_2;$
Уайт-спірит (хімічна обробка)	$C_3 \rightarrow E_2 \rightarrow S_1; C_3 \rightarrow E_2 \rightarrow S_3; C_3 \rightarrow E_3 \rightarrow S_4 \rightarrow \mathcal{E}_1;$ $C_3 \rightarrow E_3 \rightarrow \mathcal{E}_3; C_3 \rightarrow E_4 \rightarrow S_3; C_3 \rightarrow E_6 \rightarrow S_2$

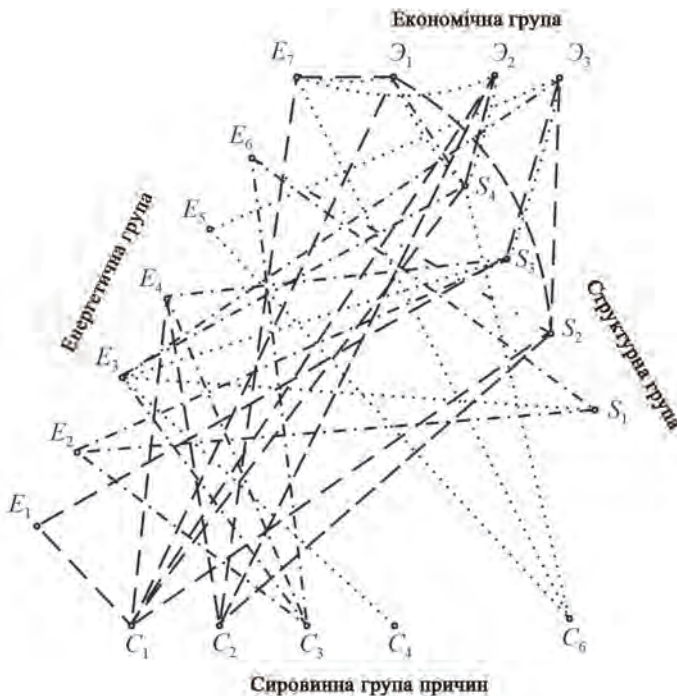
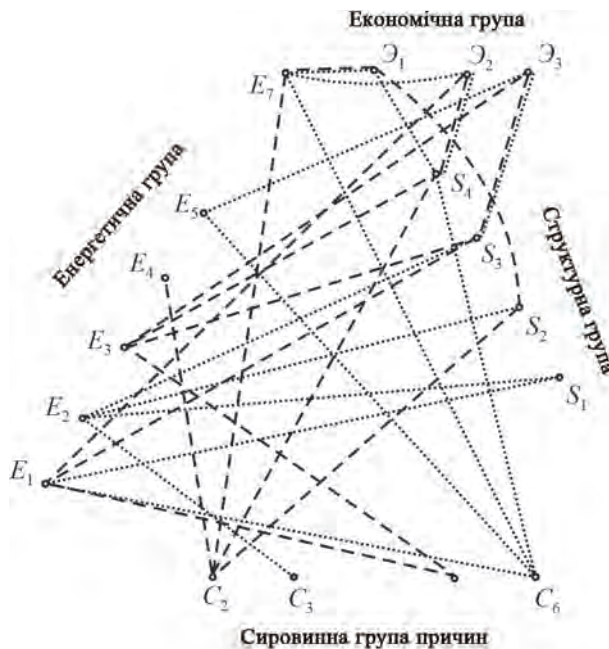


Рисунок 13.7 — Варіант механізмів утворення відходів у прокатно-штампувальному виробництві

У технології висушування лаку формуються міжгрупові причинно-наслідкові зв'язки з передумови надмірності лаку (C_6) (занурення деталі в ванну з лаком, відведення надлишків лаку і подальша сушка) і методів перетворення енергії в системі (E_5) і (E_7) (відкрита сушка, енерговитрати на випаровування лаку), що призводять до утворення рідких і пароподібних відходів лаку. Тут відразу можна побачити ресурси для мінімізації утворення відходів через зміни технології нанесення покриття лаком і зміну умов сушіння деталей.

Відходи уайт-спіриту виникають як у результаті хімічної невідповідності матеріалу вихідним компонентам сировинної бази (C_3), так і, знову ж таки, недостатнього енергозабезпечення технологічного процесу (E_2), (E_3), (E_4) і (E_6) пов'язаних з переробкою окремих матеріалів.

Таким чином, формується механізм реального процесу утворення відходів у даному виробничому процесі. Причому глибина охоплення причин утворення відходів може бути різною і залежить тільки від глибини пошуку і вимог конкретного дослідника. Так, наприклад, розглядаючи технологію точіння деталей, ми звернули увагу тільки на один відхід — стружку. Якщо врахувати інші відходи токарного виробництва, а саме: відпрацьоване ганчір'я, масло, різці, тепловіддачу від нагрітої частини, то отримаємо більш повну, але менш наочну картину механізму утворення відходів (рис. 13.8).



— — — — механічна обробка; ········· — термічна обробка

Рисунок 13.8 — Повна версія механізму утворення відходів у технології токарної обробки деталі

І в кінці цього розділу спробуємо сформулювати, в якості першого наближення, основні правила, властивості і закономірності (назвемо їх для спрощення «постулатами»), які впливають з усього масиву досліджень, пов'язаних із причинами і механізмами утворення відходів у промислових системах (табл. 13.8).

Таблиця 13.8 — Правила, закономірності і властивості процесу утворення відходів у виробничих системах

№	Найменування	Правило, властивість або шаблон	Причини такого постулату
1	2	3	4
1	Z_1^C	Чим більший ступінь спорідненості елементів сировинної бази, тим менше утворення відходів	C_8
2	Z_2^C	Чим нижчий ступінь відторгнення компонентів сировинної бази, тим менше утворення відходів	C_7
3	Z_3^C	Чим вищі обсяги виробництва, тим вище відходоутворення	C_5, C_6
4	Z_4^C	Відхід може бути запланованим інструментом у виробничій системі	C_1
5	Z_5^C	Чим більша однорідність сировинної бази технологічного процесу, тим менша його відхідна частина	$C_1 C_4$
6	Z_1^E	При однакових енерговитратах інтенсивність утворення відходів тим нижча, чим більш тривалим є технологічний процес	C_4, E_1, E_2, E_3, S_4
7	Z_2^E	Зі збільшенням інтенсивності технологічного процесу збільшується швидкість утворення відходів (наслідок з 6)	C_4, E_1, E_2, E_3, S_4
8	Z_3^E	Чим вищий тепловий ККД системи, тим менше відходів виробництва	E_3, E_5, E_6, E_7
9	Z_4^E	Для самоорганізації і самопобудови системи високого рівня використовується сировина і енергія більш високої якості, ніж існуючі в системі. При цьому утворюються відходи більш низького рівня. Вони, в свою чергу, засвоюються системами нижчого рівня і служать сировиною для більш високоорганізованих систем	E_5, \mathcal{E}_2
10	Z_5^E	Збільшення негентропії, закладеної в готовий продукт, здійснюється за рахунок збільшення ентропії решти матеріальної частини виробничої системи, і в першу чергу, за рахунок збільшення ентропії утворення відходів (властивість запозичувати якісну енергію)	C_1, E_5, \mathcal{E}_1

Закінчення таблиці 13.8

1	2	3	4
11	Z_6^E	Чим вищі прямі енергетичні витрати в технологічному процесі, тим менше відходів	E_6, E_5
12	Z_7^E	Ресурсом зниження енергетичних втрат у будь-якій виробничій системі є різниця між енергією та ентропією системи	E_5, E_7
13	Z_8^E	Відмінною особливістю відходів є їх стаціонарна рівноважність з максимальною, щодо даного технологічного процесу, ентропією.	E_7
14	Z_9^E	Відходи будь-якого виду, потрапляючи в навколишнє середовище, стають продуктом-носієм зростаючих ентропійних процесів у цьому середовищі	$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$
15	$Z_1^{\mathcal{E}}$	Чим вища планова собівартість продукції, тим вища якість сировини, тим однорідніша відхідна частина виробництва	C_1, \mathcal{E}_3
16	$Z_2^{\mathcal{E}}$	Чим вища планова собівартість основного продукту, тим нижчі прямі витрати на переробку й утримання бази відходів даного виробництва	\mathcal{E}_3
17	Z_1^S	Чим вищий ступінь зносу обладнання, тим більше незапланованих виробничих відходів	S_4, \mathcal{E}_3
18	Z_2^S	Якщо в системі є частини, що уповільнюють проходження енергії, то така система запрограмована на підвищене утворення відходів	E_2, E_3, S_1, S_2, S_3

Мабуть, тут ми також зустрінемося з приналежністю цих постулатів до раніше позначених причинно-наслідкових груп. Виділимо сегменти правил, закономірностей і властивостей, які пов'язані з кожною з цих груп, і позначимо їх як $Z_i^C, Z_i^E, Z_i^{\mathcal{E}}, Z_i^S$.

Найчастіше постулати виділяють як наслідки з відомих нам причин у вигляді правил, закономірностей, що дозволяють більш точно і правильно сформулювати механізм утворення відходів у конкретній виробничій системі.

Звичайно, найбільш структурованими є зв'язки постулатів і причин енергетичної природи. Це пов'язано в першу чергу з тим, що енергія виробничих процесів є одним з двох найбільш визначальних факторів утворення відходів. Хрестиками виділимо ті постулати, які пов'язані з міжгруповими причинами. Таких постулатів 6, а кількість міжгрупових зв'язків для них дорівнює 12 (табл. 13.9). Міжгрупові зв'язки постулатів дозволяють прочитати ті характерні особливості механізмів утворення відходів, які не пов'язані з безпосередніми причинами.

Таблиця 13.9 — Міжгрупові функціональні зв'язки постулатів

Найменування	Правило, властивість або закономірність	Міжгрупові причини
Z_1^E	При однакових енерговитратах інтенсивність утворення відходів тим нижча, чим триваліший технологічний процес	C_4, S_4
Z_2^E	Із зростанням інтенсивності технологічного процесу збільшується швидкість утворення відходів	C_4, S_4
Z_4^E	Для самоорганізації і самопобудування системи високого рівня використовується сировина та енергія більш високої якості, ніж існуюча в системі. При цьому з'являються відходи більш низького рівня якості. Вони, в свою чергу, засвоюються системами нижчого рівня і служать сировиною для більш високоорганізованих систем	\mathcal{E}_2
Z_2^S	Якщо в системі є елементи, що уповільнюють проходження енергії, то така система запрограмована на підвищене утворення відходів	E_2, E_3
Z_5^E	Збільшення негентропії, закладеної в готовий продукт, здійснюється за рахунок зростання ентропії решти матеріальної частини виробничої системи, і в першу чергу за рахунок зростання ентропії утворення відходів (властивість запозичувати якісну енергію)	C_1, \mathcal{E}_1
Z_9^E	Відходи будь-якого виду, потрапляючи в навколишнє середовище, є продуктом-носієм зростаючих ентропійних процесів у цьому середовищі	$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$
$Z_1^{\mathcal{E}}$	Чим вища планова собівартість продукції, тим вища якість сировини, тим однорідніша відхідна частина виробництва	C_1

Ми виділили 18 таких постулатів, з яких 5 постулатів відносяться до групи, пов'язаної з особливостями сировинної бази, 9 постулатів відносяться до енергетичної групи, причому два з них збігаються за значенням одночасно, як основний постулат і наслідок, в структурній і економічній групах — по два постулати. На рис. 13.9 показані функціональні зв'язки між основними групами причин і відповідними групами постулатів.

Наприклад, зв'язок між постулатами, пов'язаними з особливостями сировинної бази, з одного боку, і енергетичними та економічними причинами, з іншого, дає набагато більше можливостей для формування об'єктивного механізму утворення відходів. В цілому алгоритм знаходження механізму утворення відходів на основі причинно-наслідкових зв'язків і отриманих,

як наслідок, правил, закономірностей, властивостей виробничих систем може бути наступним (рис. 13.10). Як приклад розглянемо, як формується механізм утворення сірчаних відходів у металургійному виробництві. Скористаємося комп'ютерною версією вищеописаного алгоритму. Вихідні дані щодо вмісту сірки у відходах наведені в таблиці 13.10. Очевидно, що однією з очевидних причин появи сірки у відходах є те, що вона у великій кількості присутня у сировинній базі, а саме: у вугіллі, залізній руді, природному газі, мазуті та інших органічних енергоносіях.

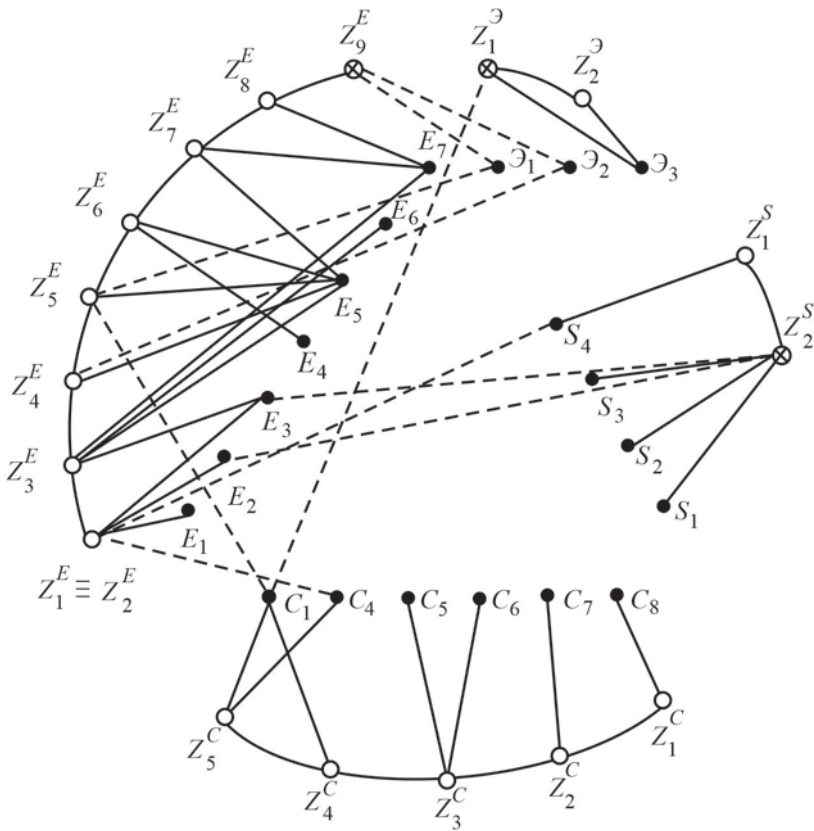


Рисунок 13.9 — Схема взаємозв'язку між причинами і постулатами в механізмах утворення відходів

З впевненістю можна сказати, що основні механізми руху сірки в металургії пов'язані з фізико-хімічними перетвореннями і термічним впливом на сіркоутворюючі компоненти сировинної бази доменного, сталеплавильного і прокатного виробництва послідовно.

Звичайно, основною причиною появи сірки в металургійній переробці є її наявність у структурі компонентів сировинної бази (C_1).

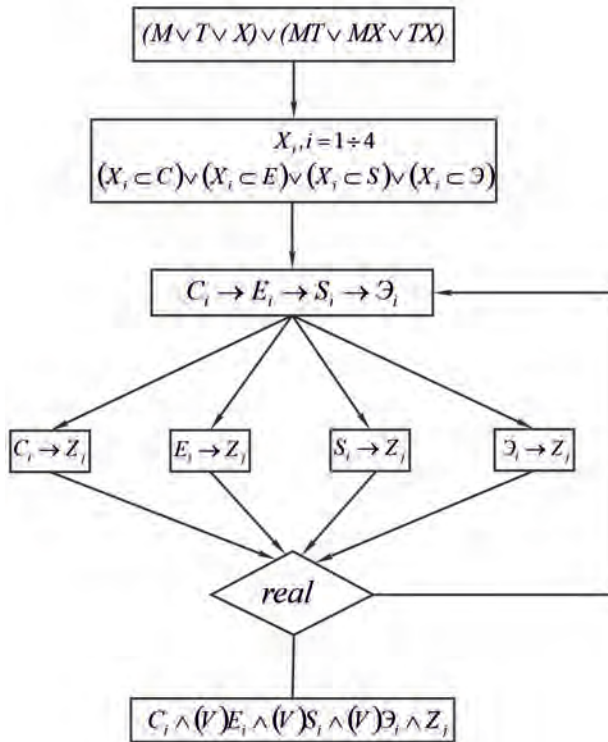


Рисунок 13.10 — Блок-схема алгоритму знаходження механізму утворення відходів у виробничій системі

Варіанти міжгрупових зв'язків у механізмі утворення відходів у вигляді сірки та її сполук представлені в табл. 13.11.

Розглянемо ці схеми (рис. 13.11) з точки зору окремих металургійних процесів, в яких бере участь сірка (коксохімічні, доменні, сталеплавильні, прокатні).

Так, наявність сірки в структурі компонентів сировинної бази (у вугіллі і в залізній руді) — причина (C_1) — не відповідає вимогам технологічного процесу, спрямованого на відновлення заліза з оксидів. При цьому ні в коксохімічному, ні в аглодоменному виробництві немає достатніх енергетичних каналів — (E_2) або є канали зі слабкою енергетичною провідністю — (E_2), щоб з метою ефективного виділення сірки з сировини у вигляді деяких товарних продуктів, продукувати це за рахунок фізико-хімічних перетворень, які відбуваються в даних технологічних процесах (\mathcal{E}_3).

До необхідних методів перетворення енергії в цих системах можна віднести лише появу екзотермічних реакцій у сталеплавильному виробництві (формули $C_1 \rightarrow E_5 \rightarrow \mathcal{E}_3$ і $C_1 \rightarrow S_2$). Однак вони не дозволяють повністю позбутися сірки і, головне, ніяк не впливають на додання цьому компоненту властивостей споживчої вартості.

Таблиця 13.10 — Сірчисті відходи в металургійному виробництві (за працями І. І. Борнацького)

№	Вид металургійного відходу	Відсоток розподілу сірки між компонентами бази відходів
1	Коксовий газ	10,85
2	Антрацитовий штиб	6,44
3	Шлак агломераційного процесу	11,34
4	Повернена частина	0,76
5	Колошниковий газ	16,60
6	Доменний шлак	9,74
7	Мартенівський шлак	5,36
8	Мартенівські гази, що відходять	12,39
9	Конвертерний шлак	8,71
10	Конвертерні гази, що відходять	14,81
11	Прокатна окалина	0,24
12	Стічні води металургійного виробництва	2,76
ВСЬОГО:		100

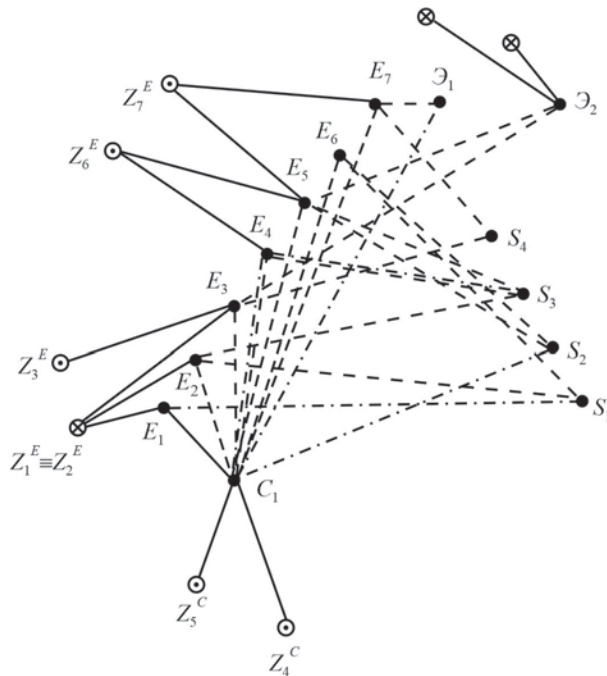


Рисунок 13.11 — Схема взаємозв'язків і постулатів при утворенні сірчаних відходів у металургії

Відсутність можливостей для більш глибокого перетворення сірки та її оксидів у процесах коксування, десульфуризації та ін., зокрема, відновлення сірки з оксидів, створення кислотних радикалів і т.д., дії (формула, $C_1 \rightarrow E_4 \rightarrow S_3$), методи, прийняті в доменному і сталеплавильному виробництві, для зміни стану сірки та її сполук (окислення, створення сульфідів і сульфатів), а також недостатня кількість енергії необхідної якості для того, щоб перетворити сірку на товарну продукцію — (\mathcal{E}_3), сприяють розвитку утворення відходів по відношенню до сірки.

Цьому сприяють і прийняті методи енергетичного впливу на сірчисті компоненти (окислення її киснем повітря — в коксохімії і агломерації, киснем, що входить до складу оксидів інших компонентів — в процесі виплавки сталі).

Термічні процеси також не сприяють наданню властивостей споживчої цінності сірці, яка бере участь у металургійних переробках. Зокрема, відсутність додаткових енергетичних ресурсів у виробничій системі призводить до появи радикалів типу SO_2 і SO_3 , які, в умовах високих температур і нестачі води, є основним елементом відходів і не можуть бути перетворені в локалізовані корисні кислоти (формула $C_1 \rightarrow E_4 \rightarrow S_3$).

Таблиця 13.11 — Міжгрупові зв'язки при утворенні відходів сірки та її сполук у сучасному металургійному виробництві

№	Фізико-хімічні перетворення
1	$C_1 \rightarrow E_2 \rightarrow S_1$
2	$C_1 \rightarrow E_2 \rightarrow S_3$
3	$C_1 \rightarrow E_3 \rightarrow S_4$
4	$C_1 \rightarrow E_3 \rightarrow \mathcal{E}_3$
5	$C_1 \rightarrow E_3 \rightarrow S_4$
6	$C_1 \rightarrow E_4 \rightarrow S_3$
7	$C_1 \rightarrow E_5 \rightarrow S_2$
8	$C_1 \rightarrow E_5 \rightarrow \mathcal{E}_3$
9	$C_1 \rightarrow E_6 \rightarrow S_2$
10	$C_1 \rightarrow E_7 \rightarrow S_1$
11	$C_1 \rightarrow E_7 \rightarrow \mathcal{E}_1$

№	Теплові впливи
1	$C_1 \rightarrow E_1 \rightarrow S_1$
2	$C_1 \rightarrow E_4 \rightarrow S_3$
3	$C_1 \rightarrow S_2$
4	$C_1 \rightarrow \mathcal{E}_1$

Ми вже звертали увагу на фізико-хімічну інтерпретацію цікавої формули утворення відходів $C_1 \rightarrow E_4 \rightarrow S_3$, яка повторюється навіть при термічному впливі.

До таких фрагментів механізму утворення відходів у даному випадку відносяться узагальнені формули $C_1 \rightarrow S_2$ і $C_1 \rightarrow E_5 \rightarrow S_2$, $C_1 \rightarrow \mathcal{E}_1$ і $C_1 \rightarrow E_7 \rightarrow S_1$. Ці загальні механізми лише підсилюють вплив тих окремих причин утворення

відходів на основі сірки та її сполук. Зокрема, пасивний стан сірки в результаті того, що система не містить енергії того типу, яка здатна надати сірці необхідних властивостей.

А фрагмент механізму, описаний формулою $E_7 \rightarrow \mathcal{E}_1$, системно відображає ту частину сірчаних відходів у металургії, яка загубиться в просторі і ніколи не матиме споживчих якостей.

Тепер звернемо увагу на постулати, які пов'язані з основними причинами в даному механізмі. Перш за все, в тій частині, яка відноситься до особливостей сировинної бази.

Безумовним є факт утворення сірчистих відходів у коксохімічному й аглодоменному виробництві, що пов'язаний з неоднорідністю основної маси сировини і наявністю в ньому неметалевого компонента (Z_5^C). Крім того, ми бачимо, що для сірки існує очевидний взаємний зв'язок між плановою собівартістю готової продукції та якістю сировинної бази (Z_1^E). Тобто високосірчисте коксівне вугілля і залізна руда з високим вмістом сірки при досягненні планової якості основного продукту стають джерелом відходів як коксохімічного, так і аглодоменного виробництва.

Наступний постулат відноситься до поведінки сірки в сталеплавильному виробництві. Розподіляючись між металом і шлаком і впливаючи на основність шлаку, сірка стає своєрідним і необхідним інструментом у цьому технологічному процесі (Z_4^C), але, тим не менш, у кінцевому підсумку перетворюється у відходи.

Тут ми не займаємося конкретними питаннями хімічних реакцій, їх рівноваги, умов теплообміну та інших процесів, які призводять до зміни властивостей сірки та її сполук при металургійній переробці. Це завдання конкретного дослідника-технолога, фахівця в області інженерії навколишнього середовища. Ми лише покажемо, як можуть формуватися основні положення механізмів утворення сірчаних відходів у різних металургійних процесах, і спробуємо уточнити їх відповідно до існуючих фізико-хімічних і термічних процесів, що відбуваються в коксовому пірозі, в доменній шахті або на межі шлак–метал у сталеплавильному агрегаті. Тому даний алгоритм слід розглядати як методологічний інструмент для конкретних досліджень.

Резюмуючи вищесказане, зробимо висновок. У будь-якому випадку вправи з такими формулами забезпечують появу навичок боротьби з основними причинами і результатами впливу цілої системи таких причин, якщо вони впливають на формування механізмів утворення відходів у найрізноманітніших технологічних процесах. У свою чергу, знання таких механізмів дозволяє знайти правильні напрямки в розробці технологічних процесів, які забезпечать максимальну переробку компонентів сировинної бази в корисні продукти, минаючи процедуру появи відходів і використовуючи для цього оптимальні джерела енергії. Але це будуть нові технології.

Далі візьмемо для прикладу управління відходами в технологіях виробництва деревного вугілля.

13.2. Мінімізація відходів у технології виробництва деревного вугілля

Стандартна схема отримання деревного вугілля піролізним методом є однією з найдавніших технологій. Вона заснована на безкисневому нагріванні підготовленої деревини з метою збагачення її вуглецевими компонентами і видаленням летючих газів.

Подрібнена деревина шляхом аспірації завантажується в бункер зберігання і в міру необхідності подається в піролізну камеру.

Зовнішній нагрів без доступу повітря здійснюється в двокамерному блоці (рис. 13.12) [2]. Одна камера (внутрішня — 1) призначена для завантаження підготовленої деревної сировини (2). Друга, (зовнішня — 3), використовується для подачі теплоносія (4) з метою підтримки необхідної температури у внутрішній камері, що забезпечує процес піролізу. На першому етапі сировину сушать з видаленням парів і деяких газів з внутрішньої камери через клапан (5). Внутрішня камера завантажується через бункерний отвір, закритий кришкою (6) з припіднятою внутрішньою камерою до рівня верхньої кришки (7) зовнішньої камери. Така схема пов'язана з витратами на велику кількість проточного теплоносія, виділенням відпрацьованих парів і піролізних газів.

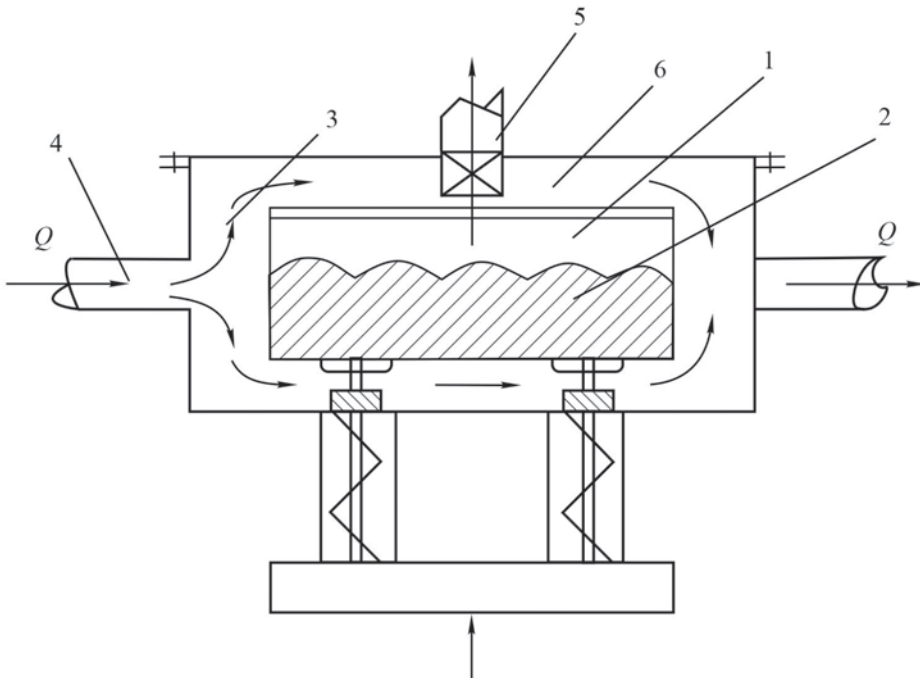


Рисунок 13.12 — Схема пристрою для виробництва деревного вугілля (позначення по тексту)

Функціональний орієнтований граф такого технологічного процесу має наступний вигляд (рис. 13.13). (Морфологічна таблиця орграфу представлена в табл. 13.12).

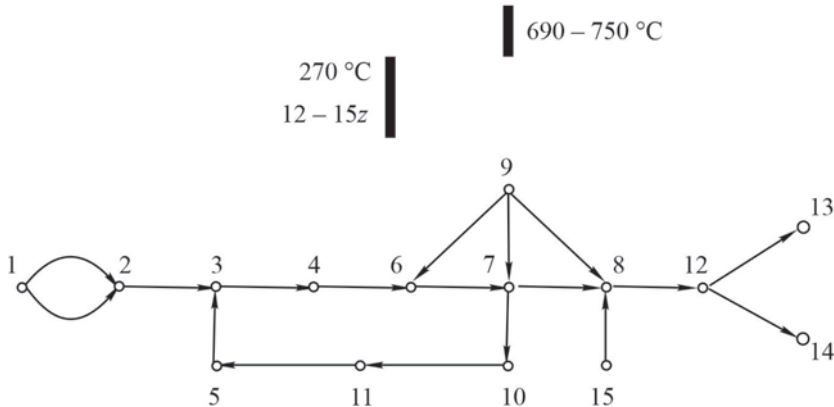


Рисунок 13.13 — Функціональний орграф технології піролізу деревного вугілля

Розглянемо деякі причинно-наслідкові зв'язки функціонального орграфу, які організують процеси утворення відходів при піролізі деревного вугілля відповідно до нашої методики, що викладена вище. Оскільки процеси піролізу в першу чергу пов'язані з термічними і хімічними перетвореннями, то при розгляді механізмів цього явища в даній технології візьмемо їх за основу (табл. 13.13).

Схематично механізми утворення відходів при піролізі деревного вугілля показані на рис. 13.14. Суцільні лінії показують механізми утворення відходів, що пов'язані з чисто термічними процесами піролізу, а пунктирні відображають механізми утворення відходів при хімічних перетвореннях. Відзначимо, що практично всі причинно-наслідкові зв'язки цих двох технологічних ліній перетинаються.

Можна зробити висновок, що в основі процесів утворення відходів у даній технології лежать недостатність і неефективність використовуваних енергетичних ресурсів і каналів передачі енергії в технологічну зону (формули S_1, E_3, S_2 і S_1, S_3 , див. табл. 13.13). Причому це відноситься як до способів постачання тепла, так і до способів безкисневого спалювання первинного деревного матеріалу (формули S_3, \mathcal{A}_1 і S_4, \mathcal{A}_3). Найважливішим у групах причин є енергетичні і структурні групи.

Для оптимізації цих процесів звернемося до методу формалізованих перетворень орієнтованих графів. Для цього розглянемо особливості функціонального орграфу (рис. 13.13). Висячі вершини орграфу 13, 15 і 10 відображають оборотні відходи в даній технології і можуть бути віднесені, по суті, до гомеоморфних графових структур. Нескладні операції демонтажу висячих вершин, подібних до вершин Ваховського [1], дають дещо іншу смислову інтерпретацію для ребер цього графу, які забезпечують ці функції. Вагова функція вершини (10) з урахуванням процедури демонтажу вершини (15) і ребра (15–8)

набуває вигляду $g(10') = g(10) - \frac{g(15)}{g(15-8)}$. При цьому збільшується вагова функція вершини (8): $g(8') = g(8) + \frac{g(15) - g(8)}{g(15-8)}$. Вагова функція графового ребра $g(15-8)' = g(7-8) \frac{g(8')}{g(8)} - g(15-8) \frac{g(15) - g(8)}{g(8)} = 0$. Вагова функція ребра $g(7-10)' = g(7-10) \frac{g(15) - g(8)}{g(8)} \neq 0$.

Таблиця 13.12 — Морфологічна таблиця присвоєння функціонального графа технології виробництва деревного вугілля

№ вершин	Функція вершини графа	Позначення ребра	Функція ребра графа
1	Вихідна сировина (деревні відходи)	1–2	Відсів негабариту
2	Підготовлена сировина	1–2	Сепарація стружки
3	Сировина в реакторі	2–3	Подача сировини в реактор
4	Висушена сировина	3–4	Сушка сировини
5	Низькотемпературний теплоносій	5–3	Сушка в псевдозрідженому шарі
6	Стружка при 270 °С	4–6	Нагрів до температури початку піролізу
7	Піролізна камера № 1	6–7	Піроліз (1-й етап)
8	Піролізна камера № 2	7–8	Піроліз (2-й етап)
9	Високотемпературний теплоносій	9–6 9–7 9–8	Послідовна подача теплоносія для обігріву піролізних камер
10	Газоподібні продукти піролізу	7–10	Виділення газоподібних продуктів піролізу
11	Очищені газоподібні продукти піролізу	10–11	Очистка піролізного газу від сажі
		11–5	Дожигання газів, що відходять
12	Деревне вугілля охолоджене	8–12	Охолодження основного продукту
13	Продукти скринінгу деревного вугілля	12–13	Відсів деревинної дрібниці
14	Готова продукція	12–14	Вивантаження готової продукції
15	Безкисневий охолоджувач	15–8	Подача охолоджувача в камеру № 2

Таблиця 13.13 — Причинно-наслідкові зв'язки в системі утворення відходів при виробництві деревного вугілля

Виявлені причини	Ім'я причин	Міжгрупові причинно-наслідкові зв'язки	
		Теплова обробка	Хімічні перетворення
C_4	Відсутність або недостатні можливості для енергетичного перетворення сировинних компонентів на мікрорівні	E_3, S_1	E_1
E_1	Нестача енергетичних ресурсів у системі, здатних трансформувати надлишкові компоненти сировинної бази	S_1	S_3, \mathcal{E}_2
E_3	Недостатня енергетична провідність між складовими частинами системи, що беруть участь у створенні відходів, та іншими частинами системи	S_1, S_3	S_4, \mathcal{E}_3
S_1	Відсутність у системі мінімально необхідної кількості частин, які здатні цілеспрямовано змінювати властивості або стан компонентів сировини	—	—
S_3	Відсутність енергоресурсів для розширення функціональності системи і підвищення її ідеальності	\mathcal{E}_3	—
\mathcal{E}_3	Вплив планової собівартості основного продукту на якість сировини й асортимент відходів	—	—

Друга гомеоморфна висяча вершина (13), перетворена методом демонтажу Ваховського, має вигляд $g(13') = g(13) - \frac{g(14)}{g(12-13)} = 0$. У цьому випадку вагова функція сусіднього ребра (12–14) дорівнює $g(12-14)' = g(12-14) \frac{g(12-13)}{g(12) - g(13)}$.

Не звертаючись до елементарних перетворень вагових функцій, відразу перейдемо до висновків. По-перше, перерозподіл вагових функцій отриманого графа означає зміну функціонального призначення цієї частини її структури. А саме. Зміна теплового режиму піролізу, пов'язаного зі зниженням ролі вторинного охолоджувача і нової вагової функції $g(15) = 0$ і $g(15-8) = 0$, сприяє зменшенню відходів газу. Використання відпрацьованих газів від зовнішнього утилізованого джерела дозволяє звести подачу зовнішнього охолоджувача до нуля, отримуючи той же технологічний результат. А по-друге, демонтаж вершини (13) з переносом її вагової функції на вершину (14') означає різке зменшення

випадання дрібної фракції при розвантаженні деревного вугілля. Це може мати місце тільки в тому випадку, якщо гарантована безперервність піролізного шару і досягнення необхідної механічної міцності кінцевого продукту. Технологічно це може бути пов'язаним тільки зі зміною теплового режиму в камері піролізу.

Така технологія, яка передбачає формалізовані перетворення орграфа (рис. 13.14), як модель технологічного процесу, складається з наступного (рис. 13.15) [2].

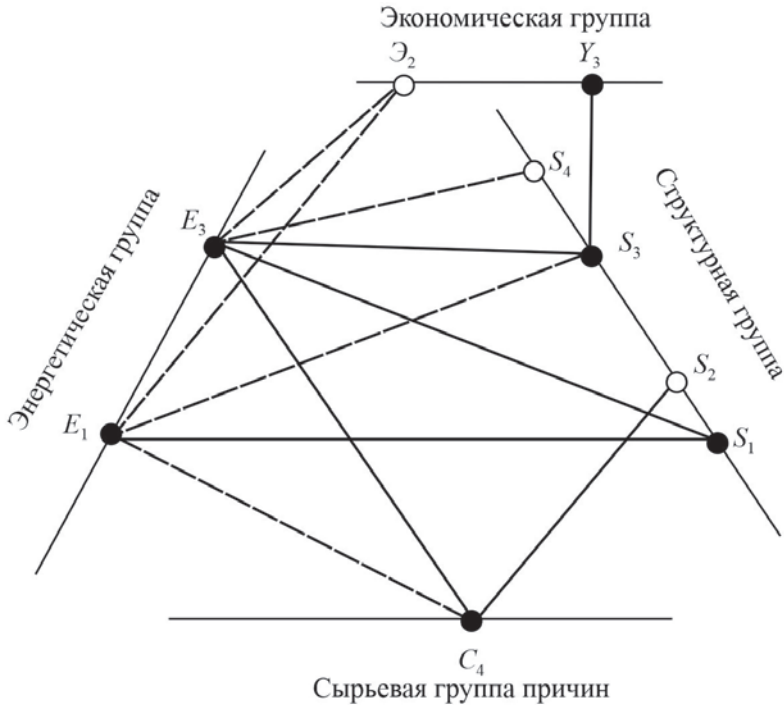


Рисунок 13.14 — Версія механізмів утворення відходів при піролізі деревного вугілля (за запропонованою методикою)

Спочатку передбачається попередня підготовка деревної сировини, що включає просіювання і відділення тирси. При цьому забезпечується оптимальна щільність піролізного шару сировини, зокрема його рихлість і газопроникність. В якості теплоносія пропонується використовувати один з вихідних газових каналів металургійного агрегату, наприклад, газів дугової електропечі. В якості теплоносія для первинного нагріву і сушіння сировини можна використовувати газові продукти піролізу у двокамерній сушильно-обігрівній печі. Як варіант компенсації втрат від низькотехнологічного піролізу — пропонується використовувати сліди відсіву деревного вугілля при його охолодженні і вивантаженні для потреб, наприклад, аглодоменого процесу, додаючи його в аглошихту, або для локальних нагрівальних печей.

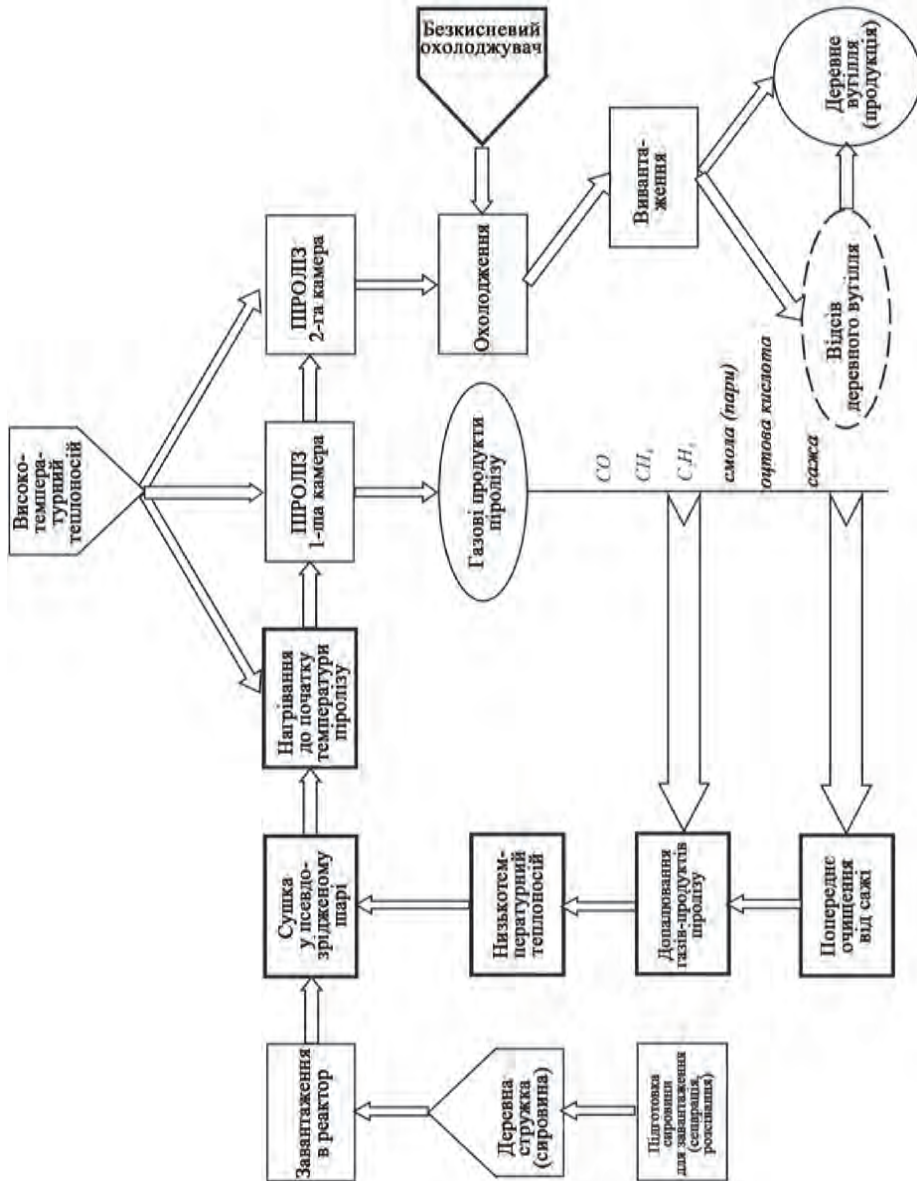


Рисунок 13.15 — Загальна схема модернізованого технологічного процесу піролізу деревного вугілля

Показники відходів поліпшеного процесу піролізу представлені в табл. 13.14. Найбільша ефективність тут спостерігається при зменшенні сажоутворення, різкому зниженні відсіву деревного вугілля при вивантаженні, а також чадного газу в результаті його допалювання. В основному це забезпечується раціональним використанням наявних енергетичних ресурсів і збільшенням енергетичної провідності по відношенню до потоку газу і до сировинної бази (тирси).

Таблиця 13.14 — Показники утворення відходів при новій і традиційній технології піролізу деревного вугілля, кг/м деревного вугілля

Показники забруднення	Технологія		Співвідношення
	Існуюча	Пропонована	
Сажа	66,7	12,6	5,29
Деревний пил	0,29	0,24	1,21
Відсів деревного вугілля	84	16	5,25
Чадний газ	2,02	0,72	2,81
Метан	0,47	0,36	1,31

Таким чином, принципова технологія піролізу деревного вугілля може мати резерви зниження рівня відходів за рахунок кращого використання можливостей попередньої підготовки сировини та використання супутніх газів в якості теплоносіїв. Технологічно це може бути будь-який відпрацьований газ металургійного виробництва. А в якості теплоносія для первинного нагріву і сушіння сировини можуть використовуватися газові продукти самого піролізу в двокамерній сушильно-обігрівній печі. Така технологія дає значний вииграш у зменшенні сажоутворення, зменшенні відсіву деревного вугілля (у п'ять разів) та чадного газу (майже втричі).

Методика, навіть у першому наближенні, дала нам варіанти використання джерел енергії, методи управління сировинним потоком цього технологічного процесу, такі, що дозволили піти від непотрібного утворення відходів і зробити технологію більш адаптованою до природного середовища, уникаючи зайвих відходів. Це було рішенням головного завдання, яке ми перед собою поставили.

ГЛАВА 14

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ В УПРАВЛІННІ ПОТОКАМИ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

-
-
- 14.1. Математична модель потоків утворення відходів мовою теорії графів
 - 14.2. Методика управління потоками відходів на прикладах
 - 14.3. Мінімізація потоків утворення відходів при виробництві доменного шлаку
-
-

Оптимізація потоків утворення відходів будь-якого виробництва є одним із найбільш значущих завдань у сфері природокористування. В тому числі, в області прогнозування динаміки розвитку ресурсної бази промислових регіонів і міст. Це завдання стає актуальнішим з урахуванням того, що така структура, як відходи, може становити значну частину ресурсного потенціалу будь-якої країни.

У цьому розділі представлений простий, за своєю наочністю, метод побудови графів для описування локальних потоків відходоутворення у виробничих системах, Використовується зручний апарат для аналітичних перетворень графів у рамках формалізованих екосистем, що дозволяє здійснювати логічний змістовний пошук шляхів розробки й управління різними видами ресурсів з метою захисту навколишнього середовища.

Важливими особливостями таких моделей з позицій системного управління є:

– можливість формування послідовності ієрархічно підпорядкованих функцій, що відображають механізм і характер явища утворення відходів у виробничій системі;

– можливість внутрішнього обліку матеріалів, яка виражається у формуванні замкнених функціональних контурів у вершинах графа.

Остання обставина дозволяє сформулювати фізичний сенс відходу в таких математичних моделях.

При цьому роль функцій, що забезпечують формування потоків утворення відходів, грають дуги часткового орграфу \bar{G} , який є доповненням до початкового G_x добудуванням до повного орграфу G_0 , так, що $G_x \cup \bar{G} \rightarrow G_0$.

14.1. Математична модель потоків утворення відходів мовою теорії графів

Першопричиною трансформації елементів у природних системах є різні природні явища (окислення, в тому числі горіння, розпад, випаровування, фотосинтез і т.д.). Внаслідок втручання людини в екологічні цикли, невід'ємною складовою їх все більше стає величезна різноманітність технологічних процесів, основу яких, у свою чергу, складають функціональні зв'язки між потоками різних ресурсів — матеріальних, енергетичних, таких, що утворюють відходи, інформаційних, трудових, фінансових та ін.

З цієї точки зору структура будь-яких матеріальних потоків виробничої системи може бути представлена ієрархічно пов'язаними стійкими відношеннями між початковим, сукупністю проміжних і кінцевим станами компонентів цих потоків, засобами і середовищами, в яких відбуваються такі перетворення, разом із цими станами. Такі зв'язки зручно описувати за допомогою бінарних відображень

$$\varphi: a_{i-1} \rightarrow a_i, \quad (14.1)$$

де a_i і a_{i-1} — відповідно два проміжних стани компонентів, що відрізняються кількісними та якісними змінами в процесі деяких трансформацій F (штучних або природних).

При цьому виробничу систему, в якій присутні деякі технологічні процеси, можна представити у вигляді графа $G(G^0, G')$, де вершинами $G^0(a_i)_{i=1}^\alpha$ виступають деякі проміжні стани ресурсних елементів, а в ролі дуг $G'(a_i, a_r)_{i,r=1}^\alpha$ виступають технологічні процеси або інші (можливо, природні) способи перетворення цих елементів з одного стану a_{i-1} в інший a_i .

З точки зору впливу на природне середовище нас повинні більше цікавити штучні перетворення матеріальних потоків. З огляду на те, що поняття технологічного процесу включає в себе послідовність деяких функцій, що полягають у перетворенні системи з набором вихідних характеристик $X = \{x_i\}$ у новий стан з набором результуючих характеристик $Y = \{y_i\}$, функцію штучної трансформації можна представити таким чином:

$$\varphi: \{x_i\} \rightarrow \{y_i\}. \quad (14.2)$$

де φ — спосіб такої трансформації.

Сукупна характеристика системи на кожному p -му етапі розчленування її структури може характеризуватися областю кількісних і якісних параметрів X^p . Тоді множина

$$X^p = \{x_1^p, x_2^p, \dots, x_i^p, \dots\} \quad (14.3)$$

являє собою область параметрів цього процесу.

З точки зору завдань, що вирішуються в даній роботі, особливий інтерес представляють групи елементів $Q_i^p = \{ \frac{p}{1i}, \frac{p}{2i}, \dots, \frac{p}{mi} \}$ на p -й стадії розчленування, до складу яких входять параметри, що описують стан потоків утворення відходів.

Проміжні стани елементів a_i^p можуть приймати параметричні значення $\{x_i^p\} \in a_i^p$ фіксовані (тобто враховані на p -й стадії розчленування) або нефіксовані (невраховані) при реалізації певного набору функцій, що описують спосіб трансформації потоку утворення відходів.

Відповідно до принципу суперпозиційності структури технологічного процесу, його функцію F можна розділити на набір незалежних операцій (функцій)

$$F \rightarrow \{ 1, 2, \dots, n \}, \quad (14.4)$$

а функцію кожної k -ої з них при необхідності можна розбити на набір більш простих операцій

$$k \rightarrow \{ \frac{k}{1}, \frac{k}{2}, \dots, \frac{k}{m} \}. \quad (14.5)$$

Призначення будь-якої з них — перетворення компонентів матеріальних потоків різного типу з одного проміжного стану в інший.

$$\phi_i^k : a_{i-1} \rightarrow a_i. \quad (14.6)$$

Перетворення ϕ_i^k може характеризувати певний фізичний процес, хімічне перетворення, механічну дію на k -й стадії розчленування, які призводять до i -ої зміни стану компонентів даного матеріального потоку. Таким чином, структура технологічного процесу в даній моделі виступає в якості сукупної функції F цього процесу, диференційованого на окремі, ієрархічно пов'язані функції окремих його елементів. Структурне розчленування технологічного процесу може здійснюватися за різними його характеристиками і зв'язками, в залежності від поставленого завдання. При цьому для кожного способу розчленування існує певний тип структурного зв'язку між функціями і станом системи. Основними видами таких з'єднань є:

- функціональні;
- часові;
- балансові (енергетичні або матеріальні);
- просторові і т. д.

Виходячи з принципу суперпозиції структури технологічного процесу, необхідно відрізнити наступні структури перетворення потоку: функціональну, часову, балансову, просторову і т. д., які в сукупності характеризують структурну модель даного технологічного процесу, призначену для зміни стану певного ресурсу.

Схема побудови графа такої моделі має наступний вигляд:

$$G = \{G_{\Phi}(\varphi, C), G_B(\alpha, \varphi), G_{\varepsilon}(\varepsilon, \varphi), G_{\Pi}(B, L), \dots\} . \quad (14.7)$$

Залежно від характеру вирішуваних завдань використовуються графи, що відображають сукупність досліджуваних аспектів конкретної технологічної системи.

Таким чином, математичну модель, що описує послідовність дій, які виконуються над матеріальним потоком у напрямку його перетворення, можна представити у вигляді наступної системи:

$$\begin{cases} F = : \{X_i\} \rightarrow \{Y_i\} \\ X^P = \{x_1^P, x_2^P, \dots, x_i^P, \dots\} \\ G = \{G(\cdot, \cdot), G(\cdot, \cdot), G(\cdot, \cdot), G(B, L), \dots\}, \end{cases} \quad (14.8)$$

вирази в якій відображають, наступне:

- структуру процесу, наслідком якого є зміна параметрів необхідного потоку;
- функціональні та структурні властивості елементів системи;
- сукупність виконуваних функцій.

Такі моделі корисні для моделювання динамічних потоків. Для цього вагову функцію вершин графа представляють у вигляді числового ряду (якщо потрібно описувати стохастичні потоки) або як функцію часу безперервного процесу. В останньому випадку функціональна модель виробничої комірки має вигляд

$$\varphi : a_{i-1}(\tau) \rightarrow a_i(\tau).$$

Виробничі системи, в тому числі в рамках моделювання характеристик відходоутворюючих потоків, мають власну морфологічну структуру типових функцій, яка лежить в основі системи присвоєння при описі формалізованих графобудівних моделей циклів та їх складових (табл. 14.1). До основних функцій можна віднести три групи найбільш типових функцій — накопичення, транспортування й управління матеріальним потоком. Як правило, ці функції у виробничих системах є повноцінними, наприклад, включити-виключити, ввести-вивести і т. д.

Перелік спеціальних функцій, наведений в таблиці 14.1, зустрічається рідше, ніж основні, але може розширюватися і доповнюватися в залежності від конкретних умов виробничої системи.

Важливим моментом для формалізованого управління матеріальними потоками у виробничих системах за допомогою синтезованих графових структур є універсальний характер і логічна взаємозамінність функцій присвоєння в межах однієї морфологічної групи. Це дозволяє значно розширити змістовність функцій синтезованих графових побудов і інтерпретувати отримані формалізовані графові структури відповідно до конкретних умов розв'язуваних завдань. Однак

така універсальність, водночас, знижує можливість конкретизації результуючих функцій при їх логічно-смісловому аналізі.

Наприклад, механічна функція відкриття-закриття в синтезованій структурі графа може мати логічний синонім автоматичного включення-виключення.

Істотною відмінністю основної групи морфологічних символів від спеціальних є взаємна взаємодоповнюваність ознак, що входять в різні морфологічні групи. Наприклад, введення-виведення елементів у виробничій системі можна розглядати як синонім функції транспортування в групі управління.

При побудові логістичних моделей необхідно враховувати деякі логічно обґрунтовані умови, що визначаються змістовним наповненням, порядком і послідовністю функцій, які забезпечують існування потоків утворення відходів у виробничій системі. До таких передумов відносяться:

1. Функції з морфологічної групи управління передують функціям накопичення і транспортування.
2. Для завершеної виробничої системи функції підготовчої групи передують всім іншим функціям.
3. Функція (+φ) з основної морфологічної групи повинна передбачати функцію (-φ) у майбутньому.

Існує ряд додаткових логічних умов, що визначаються специфікою конкретної виробничої системи та її технологіями, яких необхідно дотримуватися в процесі формалізованих перетворень графових структур. У кожному конкретному випадку їх слід обґрунтовувати, керуючись смисловим навантаженням, яку несе в собі оригінальна графобудівна модель.

Загальні принципи побудови математичних моделей руху окремих потокоутворюючих компонентів у виробничій системі будуть показані на прикладі перетворень вуглецевмісних матеріалів у металургії. Така модель представлена на рисунку 14.1. Принципова морфологічна схема моделі розглянута в табл. 14.2. На малюнку ми навмисно виділили ті частини потоків вуглецевмісних матеріалів, які не мають товарної цінності і не використовуються в схемах рециклінгу всередині самого виробництва (косе штрихування), а також ті з них, які беруть участь у рециклінгу (сіткове штрихування).

На моделі наочно показані зони накопичення основних видів відходів — лаків, шлаків, «хвостів», окалини, металевих обрізків, залишків золи і шламу, пилу, газів, а також схеми проходження матеріальних потоків, що відповідають за їх переробку. Модель дає можливість простежити динаміку зміни структури будь-якого компонента, що містить вуглець, починаючи з найбільш місткого матеріалу — вугільної шихти — до їх розміщення у відпрацьованих газах і пилу, шлаках і в готовому металі. Модель дозволяє швидко простежити основні напрямки руху компонентів сировинної бази, що містять вуглець, і його сполуки, з метою отримання, за можливості, замкнутих циклів переміщення цих матеріалів або їх модифікацій у рамках одного і того ж виробництва.

Таблиця 14.1 — Морфологічна система призначення в логістичних моделях матеріальних потоків

Групи функцій управління потоками			
Основні		Спеціальні	
Означення	Найменування та транскрипція	Означення	Найменування та транскрипція
1	2	3	4
μ	<i>Накопичення:</i> – дисипація; – додавання до вже маючого; – закидання; – завантаження; – захоплення; – екстракт; – концентрація; – ліквідація; – висипання; – відбір; – злив; – установка; – укладання штучних елементів	π	<i>Підготовка до роботи:</i> – попередні підготовчі роботи; – підготовка робочої зони; – підготовка та налагодження технічних систем
		α	<i>Контроль параметру:</i> – зважування; – вимірювання; – відхилення; – зміна якості компонента; – оцінка вартості; – оцінка трудовитрат
τ	<i>Транспортування:</i> – ввід; – відвід; – зміна напрямку руху; – зниження; – переніс; – зворот; – підйом	φ φ- φ+ φ- φ± φ± φ± φ- φ+ φ±	<i>Фізико-хімічні перетворення:</i> – адгезія; – подрібнення; – коагуляція; – сегрегація; – сорбція; – статичний заряд; – зволоження; – ущільнення; – фазові переходи
v	<i>Управління:</i> – включення; – закриття; – вимикання; – відкриття; – присвоєння; – розподіл у часі; – розподіл у просторі; – збільшення; – видалення; – зменшення		

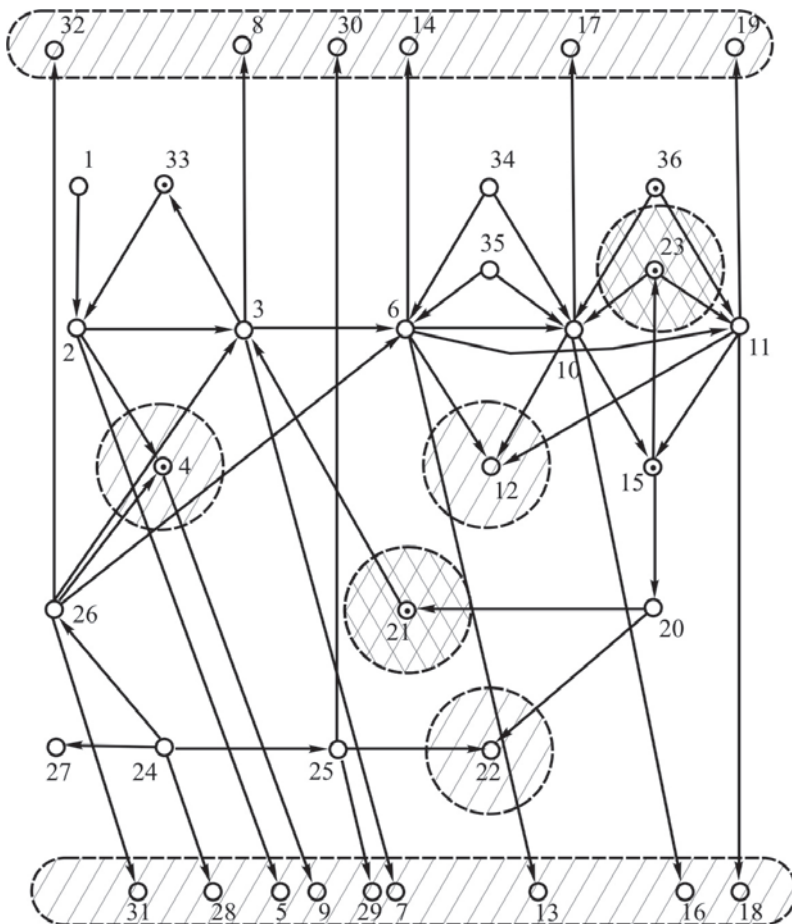


Рисунок 14.1. — Графобудівна модель руху вуглецевмісних компонентів у металургійному виробництві

Це можливо, наприклад, у циклах «збагачена руда — виробництво агломерату — дрібнота», «мартенівське виробництво — сляб — прокатне виробництво — металева обрізь», «агломерат — рідка сталь — сляб — прокат — окалина» і т. д. Однак це не вичерпує можливостей вторинної переробки в металургійному виробництві.

Очевидна умовність вагових коефіцієнтів вершин графа, що представлені в таблиці 14.3. Вони визначаються більш конкретними умовами проходження матеріальних потоків у кожному конкретному випадку.

Таблиця 14.2 — Морфологічна схема моделі руху вуглецю в металургійній переробці

Вершини графу		Дуги графу	
Позначення	Найменування компонента, в якому змінюється вміст вуглецю	Позначення	Найменування функції, яка призводить до зміни кількості вуглецю в компонентах
1	2	3	4
1	Залізна руда	|1,2|	Збагачення руди
2	Залізорудний концентрат	|2,3|	Агломерація
		|2,4|	Утворення залізовмісних «хвостів»
		|2,5|	Утворення пилу
3	Агломерат	|3,6|	Виробництво чавуну
		|3,33|	Утворення незворотної дрібноти
		|3,7|	Утворення пилу
		|3,8|	Газова генерація
4	Залізорудні «хвости»	|4,9|	Запиленість «хвостів»
5	Пил вторинного пушіння в хвостосховищах	—	—
6	Чавун переробний	|6,10|	Заливка чавуну в мартенівську піч
		|6,11|	Заливка чавуну в конвертер
		|6,12|	Шлакоутворення при виробництві чавуну
		|6,13|	Пилоутворення при виробництві чавуну
		|6,14|	Утворення доменних газів
7	Агломераційний пил	—	—
8	Агломераційні гази	—	—
9	Пил хвостосховищ	—	—
10	Рідка сталь (мартенівська)	|10,12|	Шлакоутворення в мартенівському процесі
		|10,15|	Отримання слябів
		|10,16|	Утворення пилу в мартенівському виробництві
		|10,17|	Генерація мартенівських газів
11	Рідка конвертерна сталь	|11,12|	Шлакоутворення в конвертері
		|11,15|	Отримання слябів
		|11,18|	Утворення конвертерного пилу
		|11,19|	Генерація конвертерних газів
12	Металургійні шлаки (за належністю)	—	—

Продовження табл. 14.2

1	2	3	4
13	Доменний пил	–	–
14	Доменні гази	–	–
15	Сляби	|15,20|	Виробництво готового прокату
		|15,23|	Отримання металевої обрізі
16	Мартенівський пил	–	–
17	Мартенівські гази	–	–
18	Конвертерний пил	–	–
19	Конвертерні гази	–	–
20	Готовий прокат (товарна продукція)	|20,21|	Утворення прокатної окалини
		|20,22|	Утворення прокатного шламу
21	Прокатна окалина	|21,3|	Повернення окалини до аглошихти
22	Зола та шлами	–	–
23	Прокатна обрізь	|23,10|	Додавання обрізі в мартенівську піч
		|23,11|	Додавання обрізі в конвертерну шихту
24	Вугільна шихта	|24,25|	Спалювання на теплових електростанціях
		|24,26|	Спінання коксу
		|24,27|	Місьцеве енергетичне спалювання вугілля
		|24,28|	Пушіння вугільної шихти
25	Електроенергія ТЕС у перерахунку на вуглець умовного палива	|25,22|	Утворення золи
		|25,29|	Утворення пилу
		|25,30|	Утворення відхідних газів ТЕС
26	Готовий кокс (включаючи коксик)	|26,3|	Подача коксика на аглострічку
		|26,4|	Утворення «хвостів»
		|26,6|	Подача коксового концентрату в доменну піч
		|26,31|	Утворення пилу
		|26,32|	Коксова газогенерація
7	Власні енергетичні ресурси в перерахунку на вуглець умовного палива	–	–

Закінчення табл. 14.2

1	2	3	4
28	Пил вугільної шихти	–	–
29	Пил ТЕС	–	–
30	Вихлопні гази ТЕС	–	–
31	Пил коксохімічний	–	–
32	Коксовий газ	–	–
33	Агломераційна дрібнота	|33,2|	Повернення агломераційної дрібноти
34	Природний газ	|34,6|	Подача газу в доменну піч
		|34,10|	Подача газу в мартенівську піч
35	Мазут технічний	|35,6|	Подача мазуту в доменну піч
		|35,10|	Подача мазуту в мартенівську піч
36	Металобрухт	|36,10|	Засипка металобрухту в мартенівську піч
		|36,11|	Засипка металобрухту в конвертер

Таблиця 14.3 — Динаміка накопичення і розподілу вуглецевмісних матеріалів і відходів у металургійному виробництві

№№ п/п	Вуглецевмісний компонент	Вагові коефіцієнти	Вміст вуглецю, кг/т
1	2	3	4
<i>Видаткова частина</i>			
1	Вугільна шихта для коксування k_{24}	k_{24}	862
2	Природний газ	k_{34}	155
3	Мазут технічний	k_{35}	2
4	Залізородні матеріали, феросплави	k_1	7
5	Металевий брухт	k_{36}	1
6	Флюси, добавки	–	74
7	Енергетичні ресурси власних енергетичних установок (вуглець «умовного палива»)	k_{27}	114
8	Електроенергія зовнішніх мереж в перерахунку на вуглець «умовного палива»	k_{25}	299
9	Паливно-мастильні матеріали, масла, спирти в перерахунку на вуглець	–	11
10	Дизельне паливо та інші види палива для транспортування	–	34
11	Вибухові речовини	–	1
	ПІДСУМОК		1560

Закінчення табл. 14.2

1	2	3	4
<i>Видаткова частина</i>			
1	Готова продукція	k_{20}	2
<i>Відхідна частина</i>			
1	Супутні відходи коксохімічного виробництва	$k_{31} + k_{32}$	38
2	Шлаки доменного виробництва	k_{12} / i	41
3	Шлаки сталеплавильного виробництва	k_{12} / j	21
4	Шлами	–	24
5	Золо-шлакові та шламові відходи від спалювання та переробки вугілля	k_{22}	29
6	Пил, зола		17
7	Прокатна окалина	k_{23}	3
8	Викиди в атмосферу CO	k_{19}	136
9	Викиди в атмосферу CO ₂	Σk	1195
10	Втрати енергії власних енергоустановок (вуглець «умовного палива»)	k_{17}	54
	ПІДСУМОК		1560

14.2. Методика управління потоками відходів на прикладах

Методологія управління структурними формами матеріальних потоків у виробничих системах передбачає логічно обумовлене перетворення цих форм з метою прогнозування їх розвитку, оптимізації структури або досягнення інших ефективних станів, зокрема, мінімізації утворення відходів.

Запропонований метод полягає у формалізації структури виробничої системи, включаючи фактичні потоки ресурсів і форми впливу на них у вигляді набору графів, що описують їх окремі порівняльні характеристичні сторони, з метою подальшої формальної зміни змісту отриманих нових графів за допомогою відомих і нових методів перетворення графів. Отримане різноманіття нових формалізованих структурних графів, в основі яких лежать характеристики вихідних технологій та інших форм впливу на матеріальні потоки, підлягає логічно-семантичному аналізу і формуванню оптимальних варіантів розподілу, переміщення та інших методів управління ресурсами, включаючи потоки утворення відходів.

Порядок синтезу матеріальних потоків, описаних, у рамках виробничих систем, графами, включає наступні етапи.

1. Розчленування функції впливу на ряд фундаментальних ієрархічно пов'язаних підфункцій.

2. Вибір структури елементів для реалізації цих підфункцій.

3. Систематизація проміжних значень $\{x_i\}$ станів компонента a_i матеріального потоку за їх значимістю.

4. Вибір методів формальної зміни (синтезу) функцій структурних зв'язків даного методу впливу на потік.

5. Синтез нових форм графової побудови, що відображають окремі формалізовані структурні зв'язки в системі, що управляється.

6. Логічний семантичний порівняльний аналіз отриманих форм графа з метою виявлення оптимальних функціональних та інших структур з точки зору правил синтезу і технологічної сумісності.

Слід розрізнити проміжні стани окремих компонентів матеріального потоку, що беруть участь у технологічному процесі: зафіксовані на p -му етапі синтезу і нефіксовані в побудові графа. При синтезі графів можна переводити параметри фіксованих проміжних станів у нефіксовані. Наприклад, для

$$\varphi_1 : a_{i-1} \rightarrow a_i \quad \varphi_2 : a_{i-1} \rightarrow a_{i+1} \quad (14.9)$$

з урахуванням нефіксованості стану a_i у виробництві синтезованої функції трансформації ресурсів, отримуємо

$$\varphi : a_{i-1} \rightarrow a_{i+1}. \quad (14.10)$$

При цьому, однак, необхідно, щоб була виконана умова неперервності параметрів x_i для a -го компонента

$$a_k \rightarrow \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{ki}, \dots, x_{kn}\}. \quad (14.11)$$

Звідси випливає одне з найважливіших правил синтезу орграфів, що імітують екологічні цикли.

Твердження 1. *При синтезі функцій впливу на матеріальні потоки на k -й стадії розчленування будемо переводити фіксовані стани компонентів у нефіксовані, якщо при цьому дотримується умова безперервності параметрів цих станів у певному інтервалі.*

Дійсно, якщо стан компонентів a_i зафіксовано для функцій перетворення φ_1 і φ_2 в (14.9) і при синтезі цієї графопобудови ми знайшли якусь нову, оптимальну функцію φ , що забезпечує перехід (14.10), то ізольована вершина a_i отриманого графа може бути виключена з аналізу як нефіксована в новому технологічному процесі за умови (14.10).

Друге правило синтезу — правило ідентичності.

Твердження 2. Функціональна структура синтезованих графів на k -й стадії розчленування технологічно ідентична функціональній структурі цих графів на $(k+1)$ -й стадії розчленування, тобто

$$\Phi_i^k : \{x_i^k\} \rightarrow \{y_i^k\} \infty^T \Phi_i^{k+1} : \{x_i^{k+1}\} \rightarrow \{y_i^{k+1}\} \quad (14.12)$$

або, що еквівалентно,

$$F_q^{k-1} \rightarrow \{F_{q1}^{k-1}, F_{q2}^{k-1}, \dots, F_{qn}^{k-1}\} \infty^T f_q \rightarrow \{f_{q1}^k, f_{q2}^k, \dots, f_{qn}^k\}. \quad (14.13)$$

Будь-яка конкретна функція трансформації певного ресурсу може бути реалізована за допомогою різних технологічно ідентичних структур (тобто таких, що досягають одних і тих же результатів), в тому числі синтезованих.

Правила синтезу встановлюють також умови для формування нових функцій перетворення матеріальних потоків у виробничих системах, їх сумісність, безперервність і порівняльну ефективність існуючих і синтезованих функцій за задалегідь прогнозованими або нормативними параметрами.

Твердження 3. Початкова і кінцева вершини синтезованого графа на k -й стадії розчленування повинні бути єдиними фіксованими. Проміжні вершини можуть бути явно нефіксованими.

Для певного графа $G(G^0, G')$, що описує систему в сукупності якісних і кількісних характеристик технологічного процесу і природного середовища, вагові функції вершин $g(G^0)$ і дуг $g(G')$ визначаються в залежності від структури моделі, що описує процес і набір використовуваних функцій. У загальному випадку при послідовному розташуванні елементів шуканого графа вагові функції вершин і дуг можна визначити як

$$g(G^0) = \max a_i, \quad i = 1(1)m, \quad (14.14)$$

$$g(G') = \sum_{i=1}^m (a_i a_{i'}), \quad i, i' = 1(1)m, \quad (14.15)$$

а в разі паралельного розташування

$$g(G^0) = \frac{a_i \times \max(a_{i'}, a_{i'+j})}{a_i + \max(a_{i'}, a_{i'+j})}, \quad i, i' = 1(1)m; j = 1(1)n. \quad (14.16)$$

$$g(G') = \max(a_i, a_{i'}), \quad i, i' = 1(1)m. \quad (14.17)$$

Звідси ми маємо наступні положення, які визначають ступінь досягнення прогнозованого рівня керованості ресурсними потоками в рамках даної виробничої системи.

1. Критерієм ефективності синтезованої функціональної структури є наступне:

1.1. Для характеристичної функції $\varphi_a(G)$, що відповідає кількості однотипних дуг у графі G , повинна виконуватись умова

$$\min_{G \in T} \varphi_a(G), \quad (14.18)$$

де $G \in \{T\}$ – множина припустимих графів (з розглянутих у системі).

1.2. Для характеристичної функції $\varphi_a(G)$, що відповідає кількості проміжних нефіксованих вершин у графі G , повинна бути виконана умова

$$\min_{G \in T, a_i \in G} \varphi_{a_i}(G). \quad (14.19)$$

2. Критеріями ефективності синтезованої часової структури функцій можуть бути:

2.1. Мінімальна величина тривалості взаємозв'язку між компонентами:

$$\min \sum_{i=1}^n t_i. \quad (14.20)$$

2.2. Мінімальні втрати часу на несумісність початку паралельних функцій:

$$\min \sum_{j=1}^m j. \quad (14.21)$$

2.3. Одночасне (паралельне) виконання функцій замість послідовних, тобто функціонал

$$\varphi_{i-1} \cap \varphi_i. \quad (14.22)$$

3. Критеріями ефективності синтезованої балансової структури функцій є:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \text{const}, \quad (14.23)$$

$$\min \sum_{i=1}^n \varepsilon_i. \quad (14.24)$$

Твердження 4 (правило сумісності). *Метод впливу на Φ_i та стан об'єкта a_i технологічно сумісні*

$$\Phi_i \overset{T}{\infty} a_i, \quad (14.25)$$

якщо технологічні параметри $X = \{x_i\}$ стану a_i можна отримати з попереднього стану a_{i-1} при впливі на об'єкт методом, описаним функцією Φ_i .

Дійсно, якщо технічна підтримка, що визначає метод впливу на ресурс, не дозволяє досягти необхідного стану a_i даного ресурсу із заданими параметрами

$X = \{x_i\}$, то такий метод не може бути прийнятним для даного технологічного процесу. У цьому випадку необхідні або коригувальні функції (тоді сумісним слід вважати метод впливу на ресурс, що поєднує початкову і коригувальну функції), або альтернативні методи, що сприяють досягненню поставленої мети.

Це правило слід застосовувати на етапі логічного семантичного аналізу нових групових структур, отриманих у результаті синтезу.

Твердження 5 (правило безперервності функцій). *Для виробничої системи, стан якої описується параметрами $X^P = \{x_1^P, x_2^P, \dots, x_i^P, \dots\}$, набір функцій дії є технологічно неперервним Φ_i , якщо в процесі реалізації кожної з них рівень параметрів стану системи не знижується. Пишеться це в такий спосіб:*

$$\Phi_i : \{x_{i-1}\} \rightarrow \{x_i\} \mapsto \Phi_i^T : \{x_{i-1}^T\} \rightarrow \{x_i^T\}, \quad (14.26)$$

якщо при $x_{i-1} \Leftrightarrow x_{i-1}^T$ маємо $x_i \Leftrightarrow x_i^T$.

Це твердження ґрунтується на теорії перетворення лінійних графів і обґрунтовує фактичну можливість існування альтернативних методів реалізації функцій перетворення потоків у рамках заданих станів виробничих систем, що є передумовою прогнозування і створення перспективних з них, наприклад, з точки зору мінімізації, потоків утворення відходів.

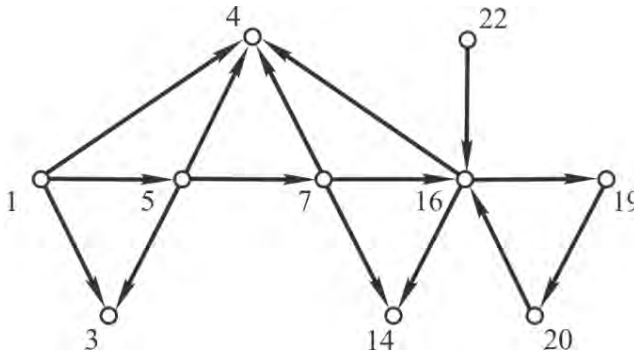


Рисунок 14.2 — Узагальнена модель руху залізозмісних компонентів у металургійному виробництві

Розглянемо ці положення на конкретному прикладі управління потоком залізозмісних матеріалів у металургійному виробництві. З усіх вирішуваних завдань виділимо тільки ті, які будуть ілюструвати наведені вище твердження і постулати.

На рис. 14.2 у найбільш узагальненому вигляді представлена графобудівна модель $G(G^0, G^1)$ матеріальних потоків залізозмісних компонентів, що беруть участь у металургійній переробці. Морфологічна схема, що дозволяє прочитати таку модель, представлена в таблиці 14.4.

Таблиця 14.4 — Морфологія узагальненої моделі матеріальних потоків залізо-вмісних компонентів у металургії у вигляді графа $G(G^0, G')$

Вершини графа		Дуги графа	
Позначення	Найменування компонента, в якому змінюється вміст заліза	Позначення	Найменування функції, що призводить до зміни вмісту заліза в компонентах
1	Залізорудна сировина	|1,2|	Збагачення руди до готового агломерату
		|1,3|	Утворення залізовмісних «хвостів»
		|1,4|	Пилоутворення
5	Агломерат	|5,3|	Утворення залізовмісних шламів і безповоротної дрібноти
		|5,4|	Пилоутворення
		|5,7|	Виробництво чавуну
7	Чавун передільний	|7,4|	Пилоутворення при виробництві чавуну
		|7,14|	Шлакоутворення при виробництві чавуну
		|7,16|	Заливка чавуну в сталеплавильний агрегат
16	Рідка сталь	|16,4|	Пилоутворення при виробництві сталі
		|16,14|	Шлакоутворення в сталеплавильному процесі
		|16,19|	Виробництво готового прокату
14	Металургійні шлаки	—	—
19	Готовий прокат (товарний вигляд)	|19,20|	Отримання металевої обрізи й окалини
20	Відходи прокатного виробництва	|20,16|	Повернення металовмісних відходів у виробництво
22	Металобрухт і феросплави	|22,16|	Загрузка в сталеплавильний агрегат

В якості початкових контрольованих параметрів системи візьмемо множину $X = \{X^{\text{Fe}}, X^{\text{FeO}}, X^{\text{Fe}_2\text{O}_3}, X^{\text{Fe}_3\text{O}_4}\}$. З точки зору ефективності вирішення завдань при дослідженні матеріальних потоків, що містять залізо, виділимо окремі структури параметрів на наступному етапі розчленування моделі. До них відносяться:

- вміст заліза в компонентах — рідкій, твердій і дисперсній фазах

$$X^{\text{Fe}} = \{[\text{Fe}]_1, [\text{Fe}]_2, [\text{Fe}]_3\};$$

– вміст оксидів заліза в цих фазах

$$X^{\text{FeO}} = \{[\text{FeO}]_1, [\text{FeO}]_2, [\text{FeO}]_3\};$$

$$X^{\text{Fe}_2\text{O}_3 \vee \text{Fe}_3\text{O}_4} = \{[\text{Fe}_2\text{O}_3] \vee [\text{Fe}_3\text{O}_4]_1, [\text{Fe}_2\text{O}_3] \vee [\text{Fe}_3\text{O}_4]_2, [\text{Fe}_2\text{O}_3] \vee [\text{Fe}_3\text{O}_4]_3\}.$$

Якщо взяти за одиницю ваговий коефіцієнт вершини, що відображає вміст заліза в готовому прокаті, то інші вагові коефіцієнти вершин цього графіка можна розподілити наступним чином (табл. 14.5).

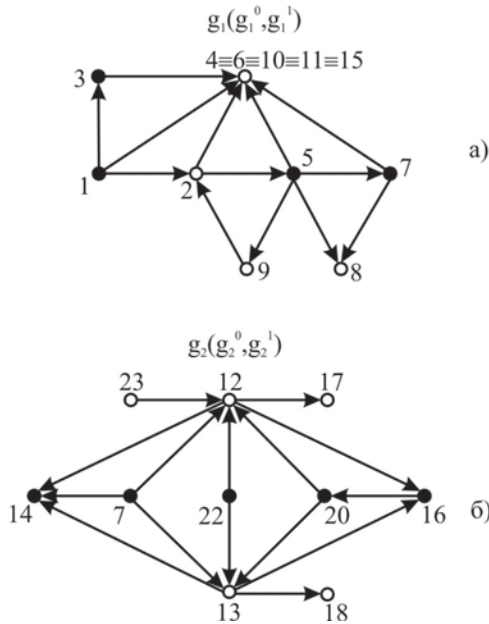
Таблиця 14.5 — Вагові коефіцієнти вершин орграфа $G(G^0, G')$

Номер вершини	Найменування параметру	Ваговий коефіцієнт, $m/m_{\text{Fe}_{\text{пр}}}$
1	Залізорудний матеріал	1,258
3	Залізорудні «хвости», шлами та ін. відходи	0,262
4	Пил залізорудний	0,042
5	Агломерат	0,954
7	Чавун переробний	0,697
14	Металургійні шлаки	0,014
16	Рідка сталь	1,065
19	Готовий прокат (товарний вигляд)	1,0
20	Відходи прокатного виробництва	0,062
22	Металобрухт і феросплави	0,354

Очевидно, що значення параметрів (у даному випадку вагові функції вершин орграфа $G(G^0, G')$) є неперервними.

Як було показано вище, відповідно до принципу суперпозиційності функціональна модель $G(G^0, G')$ (див. рис. 14.2) може бути конкретизована в будь-яких ділянках, що можуть зацікавити дослідника. При цьому параметри початкової і кінцевої вершин на ділянці розбиття повинні залишатися незмінними. Згідно з правилом переведення вершин графа з фіксованого в нефіксований стан, за умови неперервності параметрів в певному інтервалі, можна судити про наявність нефіксованих вершин у даному орграфі. Наприклад, на рис. 14.3, а модель руху залізозмісних компонентів на ділянці «залізна руда — чавун» представлена у вигляді початкового підграфа $g_1(g_1^0, g_1')$, в вершинах «1–7» таким чином, щоб вагові коефіцієнти цих вершин були незмінними, тобто $k_1 = \text{const}$ $k_7 = \text{const}$.

При цьому суцільними точками відмічені фіксовані вершини вихідного орграфа $G(G^0, G')$ і підграфа $g_1(g_1^0, g_1')$, а нефіксовані в орграфі $G(G^0, G')$ вершини, що належать тільки підграфу $g_1(g_1^0, g_1')$, позначаються незатемненими точками. Вагові коефіцієнти нефіксованих вершин, обумовлені неперервністю головного параметра, цілком визначені і наведені в табл. 14.6. Спробуємо скласти морфологічну таблицю для моделі такого підграфа (табл. 4.7).



а) «руда — чавун»; б) «чавун — прокат»

Рисунок 14.3.— Фрагменти підграфів моделі руху залізовмісні компоненти на ділянках

Таблиця 14.6 — Вагові коефіцієнти нефіксованих вершин орграфа $g_1(g_1^0, g_1')$

Номер вершини	Найменування параметру	Ваговий коефіцієнт, $m/mFe_{пр}$
4≐6≐10≐11≐15	Пил металургійний	0,144
2	Залізорудний концентрат	1,149
8	Залізовмісний шлам	0,096
9	Агломераційна дрібність	0,054

В даному випадку з'являються нові дуги підграфа $g_1(g_1^0, g_1')$, які конкретизують певні особливості руху залізовмісних матеріалів у потоках, що беруть участь у металургійних технологіях.

Таблиця 14.7 — Морфологічна модель підграфа $g_1(g_1^0, g_1')$

Вершини графа		Дуги графа	
Позначення	Найменування компоненту, в якому змінюється вміст заліза	Позначення	Найменування функції, що призводить до зміни вмісту заліза в компонентах
1	Залізородна сировина	|1,2|	Збагачення руди
		|1,3|	Утворення залізовмісних «хвостів»
		|1,4|	Пилоутворення
2	Залізородний концентрат	|2,5|	Агломерація
		|2,6|	Пилоутворення
3	Залізородні «хвости»	|3,11|	Пилоутворення від «хвостів»
4	Пил залізородний	—	—
5	Агломерат	|5,7|	Виробництво чавуну
		|5,8|	Утворення залізовмісних шламів
		|5,9|	Формування безповоротної дрібноти
		|5,10|	Пилоутворення
6	Пил залізородного концентрату	—	—
7	Чавун переробний	|7,8|	Утворення залізовмісних шламів
		|7,15|	Пилоутворення при виробництві чавуну
8	Залізовмісні шлами	—	—
9	Агломераційна дрібнота	|9,2|	Повернення дрібноти
10	Агломераційний пил	—	—
11	Пил вторинного пушіння в хвостосховищах	—	—
15	Доменний пил	—	—

Те ж саме можна віднести і в разі побудови підграфа $g_2(g_2^0, g_2')$, що описує процеси руху залізовмісних матеріалів у циклі «чавун — готові плити» разом з їх відомими трансформаціями в інтервалі між станами, що описуються вершинами «7» і «16». Функція дуги |7,16| у цьому випадку ускладнюється і описується набором дуг

$$g_2' = \left\{ \begin{array}{l} |7,12|, |7,13|, |7,14|, |12,14|, |12,16|, |12,17|, |13,14|, |13,16|, |13,18|, \\ |16,20|, |20,12|, |20,13|, |22,12|, |22,13|, |23,12| \end{array} \right\}.$$

При цьому за кожною новоутвореною вершиною існує свій проміжний ваговий коефіцієнт, і баланс цих коефіцієнтів всередині підграфа зберігається. Ми не будемо розшифровувати новий підграф $g_2(g_2^0, g_2')$, а натомість наведемо розширену, таким чином, модель руху залізородних матеріалів у вигляді орграфа $G_{об}(G_{об}^0, G_{об}') \equiv G(G^0, G') \cup g_1(g_1^0, g_1') \cup g_2(g_2^0, g_2') \cup \dots$. На рис. 14.4 представлена розширена модель руху потоків матеріалів, що беруть участь у металургійних технологіях і містять залізо і його компоненти (оксиди, сплави, композити з різною структурою і т.д.). Узагальнені морфологічні дані такої моделі наведені в таблиці 14.8.

Відповідно до правила ідентичності, отриманий орграф має функціональну структуру, ідентичну вихідному (див. рис. 14.2, 14.3 і 14.4). Тобто

$$G'[1,5]:\{1\} \rightarrow \{5\} \overset{T}{\infty} g'_1[1,5]:\{1\} \rightarrow \{5\},$$

і при цьому ідентичними є всі проміжні стани вершин $|1,5| \rightarrow \{1,3,4,5\} \overset{T}{\infty} |1,5| \rightarrow \{1,2,3,4,5,6,9,10,11\}$. Це означає, що будь-яка із зазначених послідовностей перетворень залізозмісних компонентів дає певний рівноцінний результат, незалежно від методів і траєкторії зміни цих функцій та їх компонентів.

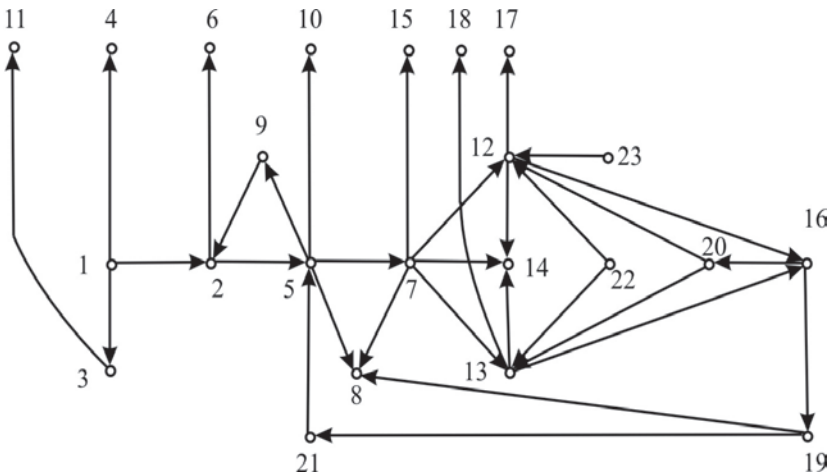


Рисунок 14.4 — Розширена модель руху залізозмісних компонентів у металургійному виробництві

Таблиця 14.8 — Морфологічна схема моделі руху залізвмісних компонентів у металургійних технологіях за даними орграфа $G_{06} (G_{06}^o, G_{06}^r)$

Вершини графа		Дуги графа	
Позначення	Найменування компоненту, в якому змінюється вміст заліза	Позначення	Найменування функції, що призводить до зміни вмісту заліза в компонентах
1	2	3	4
1	Залізорудна сировина	|1,2|	Збагачення руди
		|1,2|	Формування залізвмісних «хвостів»»
		|1,3|	Пилоутворення
2	Залізорудний концентрат	|1,4|	Агломерація
		|2,5|	Пилоутворення
3	Залізорудні «хвости»	|2,6|	Пилоутворення «хвостів»»
4	Пил залізорудний	–	–
5	Агломерат	|5,7|	Виробництво чавуну
		|5,8|	Утворення залізвмісних шламів
		|5,9|	Формування безповоротної дрібноти
		|5,10|	Пилоутворення
6	Пил залізорудного концентрату	–	–
7	Чавун переробний	|7,8|	Утворення залізвмісних шламів
		|7,12|	Заливка чавуну в мартенівську піч
		|7,13|	Заливка чавуну в конвертер
		|7,14|	Шлакоутворення при виробництві чавуну
		|7,15|	Утворення пилу при виробництві чавуну
8	Залізвмісні шлами	–	–
9	Агломераційна дрібнота	|9,2|	Повернення дрібноти
10	Агломераційний пил	–	–
11	Пил вторинного розподілу у хвостосховищах	–	–
12	Рідка сталь (мартенівська)	|12,14|	Шлакоутворення в мартенівському процесі
		|10,16|	Отримання слябів
		|10,17|	Утворення пилу в мартенівському виробництві

Закінчення табл. 14.8

13	Рідка конвертерна сталь	|13,14|	Шлакоутворення в конвертері
		|13,16|	Отримання слябів
		|13,18|	Утворення конвертерного пилу
14	Металургійні шлаки (за належністю)	–	–
15	Доменний пил	–	–
16	Сляби	|16,19|	Виробництво готового прокату
		|16,20|	Отримання металеві обрізі
17	Мартенівський пил	–	–
18	Конвертерний пил	–	–
19	Готовий прокат (товарна якість)	|19,8|	Утворення прокатного шламу
		|19,21|	Утворення прокатної окалини
20	Прокатний металобрухт	|20,12|	Додавання обрізі в мартенівську піч
		|20,13|	Додавання обрізі в конвертерну металошихту
21	Прокатна окалина	|21,5|	Повернення до аглошихти
22	Металевий брухт	|22,12|	Подача в мартенівську піч
		|22,13|	Завантаження в конвертер
23	Феросплави	|23,12|	Подача в мартенівську піч

14.3. Мінімізація потоків утворення відходів при виробництві доменного шлаку

В цілому металургійний шлак — це складна речовина в хімічному та мінералогічному сенсі, властивості якої ще недостатньо вивчені. Зокрема, це стосується доменних шлаків (табл. 14.9). Тому слід очікувати розробки нових методів трансформації шлакових матеріалів і розширення сфери застосування нової продукції.

Існуючі методи утилізації доменного шлаку засновані, як правило, на найпростіших технологіях механічної обробки (дроблення, подрібнення), використанні властивості диференційованого термічного удару в поліморфних середовищах і т.д.

Відомою номенклатурою технологій переробки є виробництво гранульованого шлаку, шлакової пемзи, щебню, в меншій мірі — мінераловатних виробів

Таблиця 14.9 — Хімічний склад доменних шлаків

Тип чавуну	Середній хімічний склад, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	S
Переробний	37–40	5,1–8,3	45–49	5,1–6,3	0,1–0,5	0,3–0,7	1,6–2,0
Фосфористий	37,5	9,5	43,9	3,66	0,95	0,64	1,59
Ливарний	38–40	7,2–8,2	46–48	4,2–6,4	0,1–0,7	0,3–0,4	1,8–2,2
Феромарганець	30–38	7,1–7,4	43–47	5,5–6,0	8,7–9,4	0,4–0,6	2,2–3,0
Дзеркальний	32–35	7,4–8,4	39–43	4,5–7,7	8,4	0,4–0,7	2,8

Переважно основними компонентами доменного шлаку є мінеральні хімічні сполуки на основі кремнію і кальцію. До основних мінералів доменного шлаку відносяться окерманіт (Ca₂MgSi₂O₇), геленіт (Ca₂AlSiAlO₇), хроміти (CaAl₄O₇, CaAl₂O₄), шпінелі (MgAl₂O₄). При різних розпадах утворюються мінерали, такі як портландит Са(ОН)₂, кальцит СаСО₃. Всього при кристалізації шлакового розплаву утворюється близько 60 мінералів. Крім того, до складу шлаку входить до 12% заліза у вигляді великогабаритного брухту, дрібних включень неправильної форми і сферичних частинок розміром до 10 мм. Для мартенівських і конвертерних шлаків, наприклад, металеві включення досягають 4–12 і навіть іноді 20% від маси шлаку.

Можна уявити, що компоненти, які входять до складу шлаку, відносяться як складові до величезної кількості екологічних циклів. Назвемо лише ті з них, які можуть представляти для нас практичний інтерес. Це цикли з обороту кремнію, кальцію, заліза, фосфору. Хоча в майбутньому можуть представляти інтерес екологічні цикли щодо алюмінію, сірки, ванадію, титану. Наприклад, фрагмент екологічного циклу для кальцію, пов'язаний з виробництвом доменних шлаків, наведено на рис. 14.5. Тут кальцій виступає в якості одинадцяти мінеральних модифікацій, кожна з яких має свої технологічні умови формування. Насправді кількість мінеральних модифікацій кальцію набагато більша. Однак у всіх цих утвореннях кальцій, будучи елементом екологічного циклу, повинен підкорятися властивостям і правилам цього циклу. І, зокрема, властивості природної або штучної утилізації. В існуючих технологіях утилізації шлаків (гранулювання, виробництво щебню, мінеральних добрив і т.д.) роль кальцію незначна. Як і нерівнозначні можливості виходу елемента з цих утворень в інші складові траєкторії екологічного циклу. Наприклад, у гранульованому шлаку сполуки кальцію легко розкладаються, утворюючи портландити і кальцити, які, в свою чергу, легко циркулюють по природних каналах екологічного циклу. В той же час, у складі шлакового щебню, мінеральної вати, кальцієві сполуки у вигляді окерманітів і галенітів випадають із природного екологічного циклу на тривалий час, оскільки період їх розкладання незмірно збільшується.

Таким чином, під оптимізацією процесу утилізації шлакових потоків доменного виробництва слід розуміти створення ефективної функціональної технологічної структури, що забезпечує максимальну переробку шлаків протягом основного технологічного процесу з урахуванням їх фізико-хімічних і механічних властивостей, надання їм властивостей товарної продукції, виходячи із закономірностей їх існування в конкретних виробничих системах.

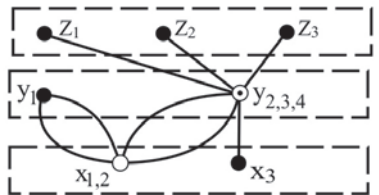
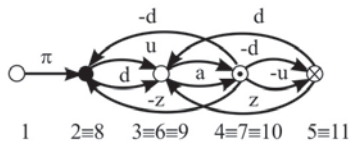
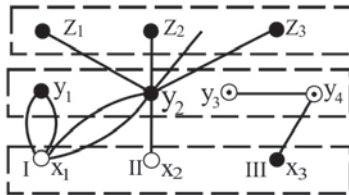
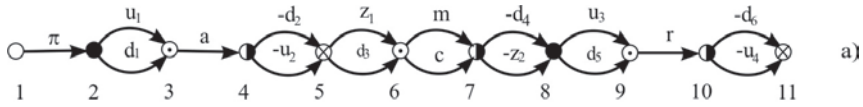


Рисунок 14.6 — Початкові і синтезовані функціональні (а і в) і просторові (б і г) графові моделі фрагменту екологічних циклів на їх перетині в технології доменного виробництва

Звернемося до графової моделі фрагментів цих систем. Вона представлена функціональним графом (рис. 14.6) $G_{\Phi} (G_{\Phi}^{\circ}, G'_{\Phi})$, де $G_{\Phi}^{\circ} = \{1, 2, \dots, 11\}$ — деякі проміжні стани компонентів екологічних циклів для кальцію, заліза і кремнію, а $G'_{\Phi} = \{n, u, d, a, \dots\}$ — функції технологічних процесів, що задані власними програмами.

Призначимо вершинам функціонального графа наступні вагові функції. Вершини 2 і 8 — стан елемента «кальцій» у гідраті кальцію і двокальцієвому

силікаті доменного шлаку; 5 і 11 — те ж саме для мартенівського і конвертерного шлаків; 4, 7 і 10 — стан компонентів «кальцій» і «кремній» у мінералах: галеніті, окерманіті і хроміті доменного шлаку; 4', 7' і 10' — стани компонента «кальцій» у мінеральних формаціях: гільгенштокіт, вітлокіт і нагельшміттит доменного шлаку; 3 — стан заліза як компонента, що входить до складу шлаку; 6 і 9 — стан компонента «кальцій» у щебні і пемзі відповідно. Числові значення вагових коефіцієнтів ребер графу визначаються кількістю того чи іншого компонента, до складу якого входить кальцій, кремній або залізо з відповідного екологічного циклу. Крім того, за допомогою реберної структури функціонального графа можна проаналізувати якісні характеристики перетворення компонентів технологічного процесу.

Просторовий оргграф цього процесу $G_{\Pi}(G_{\Pi}^{\circ}, G'_{\Pi})$ містить наступні групи вершин:

X_1, X_2, X_3 — вихідні об'єкти утилізації: шлаковий розплав, кристалізований шлак, шлак розпаду, відповідно;

Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 — утилізована продукти: гранульований шлак; шлакова пемза; щебінь; мінераловатні вироби, відповідно;

Z_1, Z_2, Z_3 — механічне подрібнення шлаку; зміни температурного режиму (див.: охолодження) шлаку; полімеризація мінеральних волокон, відповідно.

Звернемо увагу на групи гомеоморфних вершин і ребер для функціонального графа

$$A_1 = 2 \wedge 8 + 3 \wedge 6 \wedge 9 + 4 \wedge 7 \wedge 10 + 5 \wedge 11,$$

$$\dot{A}_2 = U_1 \wedge U_3 + U_2 \wedge U_4 + d_1 \wedge d_5 + d_2 \wedge d_6.$$

Кількість компонентів у A_j наступна: $d_1 = 4; d_2 = 4$. В результуючому графі $g_{\Phi}(g_{\Phi}^{\circ}, g'_{\Phi})$ отримуємо $q = 2$ частини A_j і нову пару (g_{Φ}, A) , $A = A_1 + A_2$. Ця пара є Φ -перетворенням Хоменка для вихідного функціонального графа [1], тобто

$$\Phi: G_{\Phi}(G_{\Phi}^{\circ}, G'_{\Phi}) \rightarrow (g_{\Phi}, A)$$

в тому випадку, якщо відображення $\Phi_j: A_j \rightarrow A_j$ є сумою Φ -гомеоморфізмів і саме по собі вже має властивості гомеоморфізму. Характеристики унікальності для гомеоморфних вершин і ребер відповідно $k_1^1 = 4; k_1^2 = 4$ по відношенню до вихідного графа.

Результуючий оргграф функціональної структури $g_{\Phi}(g_{\Phi}^{\circ}, g'_{\Phi})$, отриманий методом Φ -перетворень, з виключенням гомеоморфних властивостей, представлений на рис. 14.6, в.

В якості критерію оптимальності функціональної структури синтезованого фрагмента вихідної системи будемо використовувати умови для мінімальної сумарної вагової функції ребер вихідного і результуючого графів. Для вихід-

ного графа функція загальної ваги ребер для параметра «технологічні функції» дорівнює

$$g_{ae}(G_{\phi}) = g(\pi) + g(d_1) + g(a) + g(-d_2) + g(d_5) + g(R) + g(-d_6),$$

а для синтезованого графа (див. рис. 14.6, в) —

$$g_{ae}(G_{\phi})_c = g(\pi) + g(a) + g(a) + g(-d_2).$$

Очевидно, що однозначні члени в отриманих виразах порівнянні за величиною і, отже, сумарна величина $g_{ae}(G_{\phi})_c < g_{ae}(G_{\phi})$, що вказує на те, що синтезована структура характеризується найменшою кількістю використовуваного в ній компонента «кальцій». З огляду на те, що синтезована структура технологічного процесу повинна включати функції (читай «технології») утилізації, це означає збільшення ступеня використання цього компонента всередині виробничої системи і, навпаки, зменшення його кількості його, що випадає з системи в прямій технології.

Результуюча вагова функція вершин функціонального орграфа по відношенню до параметра «залізо»

$$\max[g(3), g(7), g(10)] = g(3) = G_3,$$

оскільки в процесі виконання операцій з утилізації шлаку в щебінь, пемзу з попередньою сепарацією металу максимальна ефективність припадає саме на функцію сепарації металу.

Використовуючи метод ф-перетворень для синтезу орграфа просторової структури (див. рис. 14.6, б), отримуємо нову графобудівну модель з неповним виключенням гомеоморфізму в його вершинах

$$B_1 = X_1 \wedge X_2 + Y_2 \wedge Y_3 Y_4$$

і на ребрах

$$B_2 = (Y_2, Z_3) \wedge (Y_3, Z_3).$$

Одночасно алгоритм передбачає стягування ребра (Y_3, Y_4) . Отриманий оргграф $g_n(g_n^0, g_n')$ показаний на рис. 14.6, г має властивості гомеоморфізму, тобто може за необхідності підлягати подальшій трансформації.

Аналіз синтезованих функціональної і просторової структур орграфа дозволяє виявити наступні якісні особливості поведінки компонентів «кальцій» і «залізо» у відповідних технологічних процесах.

1. Утилізація сполук кальцію в шлакових мінералах за існуючими технологіями не змінює їх структури і виводить цей компонент з екологічного циклу на тривалий період.

2. Відділення заліза зі складу доменних шлаків робить його непридатним у подальшій технології через його малу кількість і глибоку зашлакованість.

3. Номенклатура виробів і кількісні характеристики шлакових відходів доменного виробництва знаходяться в явному взаємному протиріччі, вирішити яке в даному випадку можна тільки шляхом розширення номенклатури продукції, одержуваної в результаті утилізації шлаку.

4. У синтезованій системі очевидним є поєднання функцій переробки мінералів кальцію і заліза (див. рис. 14.6, в), а також зміна структурного стану кальцієвих мінералів. Варіанти технологій, що дозволяють реалізувати нову функціональну модель фрагмента екологічного циклу:

- технологія створення металобетону на основі шлаків, насичених з'єднаннями між собою включеннями заліза;

- технологія створення пінобетону на основі легких вуглецевмісних відходів.

Такі технології розширюють асортимент продукції за рахунок утилізації доменного шлаку і сферу його застосування, зокрема, для будівництва берегових морських споруд.

В цілому отримані синтезовані структури графів (див. рис. 14, б) надають можливості для прогнозування нових технологій мінімізації шлакових відходів на більш високому якісному рівні з урахуванням особливостей їх мінералогічного стану і сучасних потреб у нових матеріалах.

ВИСНОВОК

«Закон — це формалізована мораль». Ці слова Великого українця Бориса Євгеновича Патона — не просто епіграф нашої монографії. Мораль суспільства є такою, якою вона пов'язана, зокрема, з мораллю самої Природи. Людина є тим, що походить від Природи. Її розвиток пройшов послідовні етапи цілковитого підпорядкування законам Природи, етапи раціонального співіснування з Природою і суперечливі сучасні етапи активного впливу на Природу, на її об'єктивні закони.

Сьогодні ніхто не заперечує негативного впливу, який чинять всілякі відходи людської діяльності, не тільки на стан навколишнього середовища. Але роль, яку відіграють промислові відходи в сучасному світі, величезна, і з точки зору навантаження на природне середовище незрівнянна навіть у порівнянні з побутовими відходами. На кожну тонну вироблених сьогодні побутових відходів у світі припадає 71 тонна раніше отриманих промислових відходів та інших втрат найрізноманітнішої якості. Вони істотно впливають на здоров'я людей, світову економіку, політичні процеси, що відбуваються в світі, і суспільні відносини в цілому. Відходи стають не тільки перешкодою для прогресу, а й своєрідною розмінною монетою у різних міждержавних стосунках. Певною мірою побутові відходи вже набувають якості товарів після відповідної переробки на заводах США, Швеції, інших європейських країн.

Або після сортування їх використовують як енергетичне паливо. При цьому будуються цілі заводи з переробки сміття, його сортування з використанням додаткових джерел енергії. Багато видів промислових відходів також мають власну цільову програму переробки та утилізації для використання в інших галузях промисловості. Слід зазначити, що приблизно 10–15% таких відходів знаходять подібне застосування. Створені сучасні технології четвертого і особливо п'ятого технологічних устроїв, наукоємні технології завтрашнього дня, завдяки своїй новизні, не відрізняються високим утворенням відходів. Однак до теоретичного мінімуму в утворенні відходів ще дуже далеко. Найголовніше, що навіть у таких технологіях відсутня ідеологія радикального управління процесами утворення відходів. В результаті навіть у технологіях п'ятого технологічного устрою на виробництві спочатку утворюються відходи, а вже потім з'являються способи їх переробки, утилізації і т. д. Але за межами фактичного виробництва, до якого належить це марнотратство. Крім того, більше 70% продукції, виробленої в світі, надходить із технологій третього устрою.

Книга не дарма приділяє важливе місце процесам утворення відходів у нанотехнологіях. Тому що існуюча стійка думка про те, що наукоємні технології врятують людство від відходів, поки що не виправдовує себе. Насправді прориву в наносвіт ще не відбулося. Вироби нанотехнологій стосуються надтонких покриттів інших матеріалів, створення оболонок, сумішей, вузького асортименту таких виробів, як нанотрубки, тобто того, що ще не дає істотних переваг ані в технологіях отримання товарної продукції, ані в технологіях значного зменшення відходів в осередку виникнення. Теоретичне використання наноасемблерів (за Г. Дрекслером) як інструменту для створення нанотехнологій нового покоління поки не реалізоване на практиці. І за останні десять років у світі практично нічого не змінилося, в тому числі і з точки зору співвіднесення його з виробництвом відходів.

А поки цілі галузі і заводи мігрують з Європи і США в країни третього світу, де поки немає обмежувального екологічного законодавства і де створюються нові полігони, які не потребують переробки відходів. Потрібно розуміти, що такі методи боротьби з відходами не дають їм ефективності. Значний прогрес у напрямку створення технологічних процесів, спрямованих на одночасну переробку всіх компонентів сировини в корисні продукти, як показано в попередній редакції, також практично непомітний.

Але не було б другого видання цієї книги, якби автор разом із низкою серйозних вчених з Києва, Харкова, Дніпра, Запоріжжя, Санкт-Петербурга, Барселони, Сієгла, Берліна, Відня, Вюрцбурга, Афін не відстоював свою позицію про те, що *напрямок мінімізації відходів у джерелі виникнення є одним із найбільш ефективних не тільки для майбутніх технологій, але і для реконструкції існуючих технологічних процесів*. Саме тому в розширеній і переглянутій мо-

нографії приділяється багато уваги вивченню різноманітних сучасних і традиційних технологій, показуються напрямки їх удосконалення, подаються результати аналізу стародавніх технологій мінімізації утворення відходів, що змогло привести в реальність абсолютно новий напрямок в інженерній екології — ретроекологію, науку про методи і досвід охорони навколишнього середовища в далекій ретроспективі століть.

Коротко підсумуємо деякі особливості викладеного в монографії матеріалу.

Природа утворення відходів може міститися в двох рівнозначних складових: багатокomпонентній сировинній базі і локальному джерелі енергії, яке використовується в даному технологічному процесі. Як правило, вихідному «корисному» компоненту сировинної бази, в рамках будь-якого існуючого технологічного процесу, відповідає такий енергетичний ресурс, за допомогою якого з цього компоненту отримують товарну продукцію. Решта компонентів сировинної бази автоматично потрапляють під дію того ж самого енергетичного ресурсу і в довільному вигляді перетворюються у відходи.

Будь-який технологічний процес — це вибірковий вплив енергії на окремі компоненти сировини. В основі цього явища лежить властивість **термодинамічної двоєдності** виробничої системи. Сенс цієї властивості полягає в тому, що структурована, багатокomпонентна сировинна база будь-якого технологічного процесу співвідноситься з енергією, що діє на неї дуально: як глибоко термодинамічно нерівноважна система, в результаті якої з певної частини сировини виходять корисні продукти, і, в той же час, як слабо нерівноважна (або розташована в зоні термодинамічної рівноваги) система, в результаті якої з однієї і тієї ж сировини з'являються енергетично не оброблені відходи. Ця властивість є неминучою основою для будь-якого з існуючих технологічних процесів, подібно до того, як неминуча поява відходів.

Завдання нових технологій полягає в тому, щоб у технологічному процесі кожна складова сировинної бази відповідала такому джерелу енергії, який однозначно переробляє її до стану корисного продукту, незалежно від інших складових сировинної бази.

Висновок такий.

1. Необхідне різноманіття джерел або видів енергії, що беруть участь у перетворенні сировинних потоків у рамках технологічного процесу, має бути спрямоване не тільки на перетворення обраних компонентів у корисні продукти. Структура й якість енергії повинні бути розраховані на скоординоване перетворення всього спектра компонентів сировини в корисні продукти.

2. Основою абсолютної більшості сучасних технологічних процесів має стати врахування багатокomпонентності сировини і умова узгодженості джерел енергії, що поліваріантно використовуються, щодо всіх компонентів.

Ми, як і раніше, виходимо з відомого постулату: не знаючи самого явища, неможливо ефективно ним управляти. *Без точного механізму явищ, за допомогою яких відходи з'являються в системах, не можна стверджувати, що ми здатні оптимально управляти цими відходами, мінімізувати їх, якісно переробляти.* Тому будь-яка уточнювальна, або така, що істотно змінюється, інформація в даній області стає надзвичайно цікавою, щоб більш досконально вивчити механізми утворення і розвитку відходів у найрізноманітніших виробничих системах. Значного інтересу набувають будь-які системні результати, які можуть бути універсальними для будь-якої технології, наприклад, термодинамічна двоєдність технологічного процесу, компонентне структурування сировинного потоку, визначення технологічно ефективних джерел енергії для цілеспрямованої обробки *всіх* компонентів такого потоку, джерел енергії, що оптимально вписуються в існуючий технологічний процес, і багато інших.

Увага, приділена в другому виданні книги «Відходи та їх природа» питанням енергоентропії процесів утворення відходів, пов'язана саме з прагненням знайти і вивчити об'єктивні властивості процесів утворення відходів у різноманітних технологічних системах, які дадуть початок систематизації основних причин для такого явища. Недарма автор бере за основу саме енергетику, що лежить в основі отримання як корисних продуктів, так і відходів.

Нерозривна термодинамічна двоєдність, характерна для впливу деяких джерел енергії на всі складові сировини, лежить в основі будь-якої з існуючих технологій. Тому закони енергоентропії, які пояснюють значну частину природи утворення відходів, присутні в нашому аналізі в якості фундаментальних.

Ми все ще бачимо небажання вчених у галузі прикладних наук, спеціалістів-технологів відходити від стереотипів: головне для них — все-таки отримувати той продукт, для якого створювалося це виробництво. Без будь-якої прив'язки до багатокомпонентності сировини, однієї з найважливіших і головних якостей, що відповідають за утворення відходів. Без урахування якості використовуваної енергії, як основи для переробки всіх компонентів сировини. Без будь-яких прив'язок до особливостей ефективності використовуваних джерел енергії. Ці дві причини — багатокомпонентність сировини і поліваріативність використовуваних джерел енергії, і їх примусова узгодженість, як основа мінімізації утворення відходів, поки не є домінуючими ні для абсолютної більшості сучасних технологій, ні для технологів, творців нових виробництв, авторів патентів на нові технологічні процеси. Не кажучи вже про традиційні, роками усталені технології, які, знову ж таки, є вкрай марнотратними і сприяють пригніченню середовища проживання не тільки людини, але і всього живого на Землі.

Автор не може претендувати на повноту досліджень в області природи утворення відходів хоча б тому, що подібні ідеологічні теми вивчаються глибоко

ше і з різних сторін. Однак слід бути впевненим, що поступово ці процеси знайдуть своє місце і стануть домінуючими в свідомості людства, якщо брати до уваги глобальний негативний вплив відходів на природне середовище, на можливості існування людини в цьому середовищі, якщо брати до уваги їх реальну небезпеку, яка полягає у втраті звичного для людини середовища проживання. Значимість цих явищ незрівнянно висока по відношенню до мінімального обсягу знань, якими володіє людство в цій царині — сукупності знань про природу явищ, що утворюють відходи.

Можна стверджувати, що не так вже й багато областей знань, особливо базових, для самого існування людини на Землі, як теорія і методологія утворення відходів. Парадоксальним у даному випадку є практично повна очевидність і уявна простота самих подібних процесів. Ці фактори від імені Природи вже сьогодні грають із людством злий жарт, ставлячи його перед безальтернативним вибором, а завтра ще й можуть для людини становити загрозу втрати звичного місця проживання. Недарма великий письменник-фантаст, вчений Г. С. Альтшуллер ще 30 років тому небезпідставно фантазував про надприродний технізований світ для людства. Є побоювання, що цей світ вже настає.

І, як і раніше, слід бути впевненим, що тільки по-справжньому об'єктивні знання в області такого явища, як природа утворення відходів, що має визнані зв'язки з цілеспрямованими проявами людської діяльності, поряд з процесами виробничої діяльності, а саме їх трудовим і технологічним змістом, можуть відповісти на численні питання — що робити і як позбутися неминучих відходів, пов'язаних із будь-яким виробництвом. Фактична глобальність виробничих процесів і еквівалентна глобальність процесів утворення відходів дають нам розуміння того, що до цих явищ слід ставитися не як до «докучливої мухи», від якої якось треба відмахнутися, а як до об'єктивного і вкрай витратного процесу, який у смислово-аспектній формі може бути прирівняний до ідеологічних знань і сучасних технологій. До цього спонукає зміст даної монографії, яка завдяки цьому буде корисною читачеві. Саме на це розраховує автор.

В роботі і надалі отримала розвиток методика дослідження і визначення теоретичного мінімуму утворення відходів, розширено сферу її застосування, в тому числі для технологій, які вже були забыті упродовж століть, коли вони існували як стародавні технології, наприклад, виробництво сиру, вина і будівництво єгипетських пірамід, римських доріг і акведуків. Ця методика, а також методи оцінки процесів утворення відходів на основі властивостей цього явища можуть лягти в основу зміни багатьох існуючих технологічних процесів з урахуванням ретроспективних особливостей і забутого досвіду попередніх поколінь. Численні приклади показують, як застосовувати різні, в тому числі й альтернативні, джерела енергії, здатні систематично впливати не тільки на окремі складові сировинної бази, а й на більшість інших компонентів, утворення яких раніше не передбачалося в подібних технологіях. Допитливому

вченому варто уважніше придивитися до цих прийомів і знайти їх застосування в інженерних роботах.

Ми залишили для обговорення в книзі матеріали тринадцятого розділу, в якому представлені методологічні дослідження механізмів утворення відходів у різних технологічних процесах. Розширені знання методології формування об'єктивних механізмів утворення відходів у виробничих процесах дозволили істотно уточнити запропоновані методики розрахунку і наблизити їх до практичного застосування на численних прикладах досліджень.

І хоча ця частина роботи ще не викликала певного інтересу у наукової спільноти, ми очікуємо, що з'явиться допитливий розум, який зможе дати подальший поштовх розвитку цього важливого напрямку в сфері утворення відходів. Або дасть йому якийсь інший напрямок у дослідженнях. Тому що ми повинні бути переконані, що такі механізми і причинно-наслідкові зв'язки в технологічних процесах однозначно відображають шляхи і напрямки, за якими необхідно розвивати технології завтрашнього дня, технології, які, за термінологією Гюнтера Паулі, дають важливий поштовх розвитку «блакитної економіки».

Робота, як і раніше, має характер полемічного матеріалу, який автор подає на обговорення всім зацікавленим вченим з метою з'ясування і розвитку сутності явищ, що лежать в основі природи утворення відходів, як явища, пов'язаного з діяльністю людини.

Отримала своє розуміння і розвиток у науковому співтоваристві, і, зокрема, серед українських вчених, Грицишен Д. О., Бухкало С. І., Кочешкова І. М., Міхно І. С. та ін. у період 2014–2018 рр., і заслуговує більшого інтересу проблема відходів як об'єкта товарно-грошових відносин. Зокрема, якщо врахувати, що витрати на отримання відходів апіорі включуються у вартість основного продукту, що робить відходи заздалегідь безперспективними для обов'язкової реалізації. Безумовно, в цьому плані заслуговують на увагу і технології економічної амортизації відходів. Саме так вчиняють зі зносом основних виробничих фондів. Принаймні, ті складові сировинної бази, які зазнають геть інших змін за допомогою нових джерел енергії, доводяться до такого стану, що дозволяє надавати їм якість товарної продукції. Переважна більшість існуючих технологій і енергетичних потоків, що використовуються для їх реалізації, не дозволяють цього зробити. У книзі показані інші шляхи підвищення товарної значущості для всіх складових сировинного потоку, способи, на які варто звернути увагу технологам багатьох галузей.

Напрямок у науці, зазначений у змісті монографії, до сих пір має дуже мало своїх стійких послідовників в галузі прикладної інженерії, серед фахівців технічних наук, тих, хто відповідає за ефективність розроблених технологій отримання різноманітної товарної продукції. Сьогодні потрібні не тільки знання в області природи утворення відходів. Вкрай важливо сформувати нову технологічну психологію в прикладній інженерії. Важлива і відповідна законо-

давча база, в тому числі і на міжнародному рівні, що обмежує створення традиційних технологій, спрямованих тільки на отримання товарної продукції і ніяк не орієнтованих на інші складові сировинної бази, які стихійно перетворюються в непотрібні відходи. Монографія дає впевненість у тому, що такі підходи до існуючих технологій є одним із найбільш ефективних способів мінімізації відходів, а саме шляхом їх значного зменшення в джерелі виникнення.

Сучасні правила поводження з відходами знаходяться поза областю знань про природу і механізми, які лежать в основі процесів утворення і подальшого існування відходів у найрізноманітніших сферах людської діяльності. Звідси, зокрема, так багато неефективних, емпіричних підходів до поводження з відходами, заснованих на утилізації відходів, їх посттехнологічній переробці, з використанням при цьому абсолютно нових джерел енергії, спрямованих на нові сукупні, структурні та енергетичні зміни стану відходів. Підходи, які не забезпечують радикальних ефективних рішень для людства. У міру своїх можливостей автор зробив спробу заповнити цю прогалину. І наскільки це було успішно — на розсуд шановного читача.

Повторимо, що монографія не може претендувати на вичерпність піднятих у ній питань. З накопиченням додаткових знань в області природи утворення відходів ці знання можна використовувати і в запропонованих методах, уточнюючи і розширюючи свої можливості. І друге видання є тому підтвердженням.

І на закінчення хотілося б висловити надію, що монографія зможе викликати у читача бажання замислитися над сутністю порушених у ній проблем. Я впевнений, що вони того варті.

Ще раз сподіваюся на розуміння і цікавість нашого читача.

CONCLUSION

«Law, is a formalized morality». These words of the great Ukrainian Boris Evgenyevich Paton are not simply the epigraph of our monograph. The morality of society is the way it correlates, in particular, with the morality of Nature itself. Man is a derivative of Nature. His development has passed through successive stages of complete submission to the laws of Nature, stages of rational coexistence with Nature and contradictory stages of active influence on Nature, on its objective laws.

Today, no one disputes the negative impact that all kinds of waste from human activities have not only on the environment. But the role played in the modern world by industrial waste is enormous and, in terms of the load on the natural environment, incomparable even in comparison with domestic waste. For every ton of household waste produced in the world today there are 71 tons of industrial waste and other waste of varying quality. It has a significant impact on human health, on the world economy, on political processes worldwide, and on social relations in general. Waste becomes not only an obstacle to progress, but also a kind of bargaining chip in various interstate relations. To a certain extent, household waste already acquires qualities of goods after appropriate processing at factories in the United States, Sweden, and other European countries. Or after sorting it is used as energy fuel. At the same time whole factories are being built for waste processing, sorting with the use of additional energy sources. Many types of industrial waste also have their own target program of recycling and disposal for use in other industries. It should be noted that about 10–15% of such waste finds a similar use. The created modern technologies of the fourth and especially the fifth technological modes, science-intensive technologies of tomorrow due to their novelty are not characterized by high waste generation. However, the theoretical minimum of waste formation is still very far away. Most importantly, even such technologies lack any ideology of radical waste generation management. As a result, even in technologies of the fifth technological mode, production first produces waste, and then it finds ways to recycle, dispose of it, etc. But outside of the production itself, to which this waste belongs. In addition, more than 70% of the world's production comes from third-order technologies.

It is not without reason that the book devotes an important place to the processes of waste generation in nanotechnology. Because the existing stable opinion that knowledge-intensive technologies will save mankind from waste does not justify itself yet. In fact, the departure into the nanoworld has not yet taken place. Products of nanotechnology revolve around ultrathin coatings of other materials, around creation of shells, mixtures, a narrow range of products like nanotubes, that is, something that does not yet offer significant advantages in technologies for obtaining marketable products, or in technologies for suppressing waste at the source. The theoretical use of nanoassemblies (by H. Drexler), as a tool for the creation of a new generation of

nanotechnology, has not yet materialized in practice. And over the past ten years, almost nothing has changed in the world, including in terms, if we correlate it with the production of waste.

Meanwhile, entire industries and plants are migrating from Europe and the U. S. to third-world countries, where there is no restrictive environmental legislation yet, and where new landfills are being created that do not require recycling. We must understand that such methods of waste handling do not make them effective. Significant progress towards the creation of technological processes aimed at the simultaneous processing of all components of the initial raw materials into useful products, as shown in the previous edition, is also almost not noticeable.

But there would be no second edition of this book if the author together with a number of serious scientists from Kyiv, Kharkiv, Dnipro, Zaporizhzhia, St. Petersburg, Barcelona, Seattle, Berlin, Vienna, Würzburg, Athens had not defended their position that the *direction on waste minimization at source is one of the most effective not only for future technologies, but also for reconstruction of existing technological processes*. That is why in the expanded and revised monograph much attention is paid to the research of the most different modern and traditional technologies, the directions of their improvement are shown, the results of ancient technologies analysis for waste minimization are presented, which was able to bring to reality a completely new direction in engineering ecology — retroecology, the science of methods and experience of environmental protection in the distant retrospective of centuries.

Let us briefly summarize some of the features of the material presented in the monograph.

The nature of waste generation can be concluded in two equally important components: a multi-component raw material base and a local energy source, which is used in a given technological process. As a rule, the initial «useful» component of the raw material base, within the framework of any existing technological process, corresponds to such an energy resource, with which it is used to obtain marketable products. The other components of the raw material base automatically fall under the action of the same energy resource and are transformed into waste in any form.

Any technological process is a selective impact of energy on individual components of raw materials. This phenomenon is based on the **property of the thermodynamic bivalence** of the production system. The meaning of this property lies in the fact that the structured, multi-component raw material base of any technological process relates to the energy acting on it dually: as a strongly thermodynamically nonequilibrium system, as a result of which a useful product is obtained from a certain part of raw material, and, simultaneously, as a slightly nonequilibrium (or located in the thermodynamic equilibrium zone) system, as a result of which an energy-unprocessed waste appears from the same raw material. This property is an inevitable basis for any of the existing technological processes as inevitable as the appearance of waste.

The task of new technologies is that in the technological process each component of the raw material base corresponds to such an energy source, which unambiguously processed it, regardless of other components of the raw material base, to the state of a useful product.

The conclusion is as follows.

1. The required diversity of energy sources involved in the transformation of raw material streams within the technological process must be aimed not only at converting selected components into useful products. The structure and quality of energy must be designed for the coordinated transformation of the entire nomenclature of raw material components into useful products.

2. The basis for the vast majority of modern technological processes must take into account the multicomponent nature of raw materials and compliance with the consistency of the multivariate used energy sources.

We still proceed from the well-known postulate: without knowing the phenomenon itself, it is impossible to effectively manage it. *Without knowing the exact mechanism of the phenomenon by which waste appears in systems, we cannot claim to be able to optimally manage this waste, to minimize it, to recycle it qualitatively.* Therefore, any clarifying or substantially modifying information in this area becomes extremely interesting in order to study more thoroughly the mechanisms of waste emergence and development in a wide variety of production systems. There is considerable interest in any systemic results that may be universal to any technology, such as thermodynamic bipartitioning of the technological process, component structuring of the raw material stream, identification of technologically efficient energy sources for targeted processing of all components of such stream, sources that fit optimally into the existing technological process, and many others.

The attention paid in the second edition of the book «Waste and its Nature» to the energy-entropy of waste generation processes is connected with the desire to find and study the objective properties of waste generation processes in various technological systems, which will give the basis for systematization of the main causes of waste generation. It is not unreasonable that the author takes energy, which is the basis for obtaining both useful products and waste, as the basis.

The inseparable thermodynamic bipartition characteristic of the effects of certain energy sources on all components of raw materials is the basis of any of the existing technologies. Therefore, the laws of energy-entropy, which explain much of the nature of waste generation, are present in our analysis as fundamental.

We still see the reluctance of scientists in the field of applied sciences, specialists-technologists to get away from stereotypes: the main thing for them is still to obtain the product for which the given production was created. There is no reference

to the multi-component nature of the raw material, one of the most important and main qualities responsible for waste production. Outside of any consideration of the quality of the energy used as the basis for processing all the components of the raw material. Outside of any reference to the specific efficiency of the energy sources used. These two reasons — multicomponent raw materials and polyvariant energy sources used, and their required coordination as the basis for waste minimization — do not yet dominate for the overwhelming majority of modern technologies, nor for process engineers, founders of new facilities, authors of patents for new technological processes. Not to mention traditional, long-established technologies, which, again, are highly wasteful and contribute to the oppression of the environment not only of humans, but also of all life on Earth.

The author cannot claim to be exhaustive in his research on the nature of waste generation, if only because such worldview subjects are investigated more deeply and from a variety of angles. However, we should be sure that gradually these processes will find their place and become dominant in the consciousness of humanity, if we keep in mind the global negative impact of waste on the natural environment, on the possibility of human existence in this environment, if we consider their real danger, consisting in the loss of habitual habitat for humans. The significance of these phenomena is incommensurably high in relation to the minimum amount of knowledge that mankind possesses in this field — the field of knowledge about the nature of waste generation phenomena.

It can be argued that there are few areas of knowledge, especially those fundamental to human existence on Earth, that have been so poorly studied as the theory and methodology of waste formation. It is paradoxical that such processes are almost completely obvious and seemingly simple. These factors on behalf of Nature are already playing a cruel joke with mankind, putting it before the choice without any alternative, and tomorrow they can put before the man the threat of losing the habitual habitat. It is not for nothing that the great visionary, scientist G. S. Altshuller, as far back as 30 years ago, not without reason, fantasized about a naturalless, technicized world for mankind. There is a fear that this world is already coming.

And, as before, we should be sure that only truly objective knowledge in the field of such phenomena as the nature of waste formation, having recognized links with purposeful manifestations of human activity, along with the processes of productive activity, namely, their labor and technological filling, can give an answer to numerous questions — what to do and how to get rid of the inevitable waste, accompanying any production. The actual global nature of the processes of production and the equal global nature of the processes of waste formation give us the understanding that these phenomena should be treated not as a «nuisance fly», from which we must somehow get rid, but as an objective and extremely costly process, in the sense of a process equal to the worldview knowledge and modern technologies. The content

of this monograph, which will be useful to the reader in this way, pushes to this. At least, the author counts on this.

The work has further developed the methodology of research and determination of the theoretical minimum of waste formation, expanded the scope of its application, including for technologies that have already been forgotten in a succession of centuries, when they existed as ancient technologies, such as the production of cheese, wine and construction of the Egyptian pyramids, Roman roads and aqueducts. This methodology, as well as methodologies for evaluating waste processes based on the properties of this phenomenon, can form the basis for changing many existing technological processes, taking into account retrospective features and forgotten experiences of previous generations. Numerous examples show how to apply various, including alternative, energy sources capable of systematically affecting not only selected components of the raw material base, but also most other components, the conversion of which was not previously envisaged in such technologies. An inquisitive scientist should take a closer look at these techniques and find their application in engineering work.

We have left for discussion in the book the materials of the thirteenth chapter, which presents methodological research on the mechanisms of waste formation in a wide variety of technological processes. Extended knowledge of the methodology of formation of objective mechanisms of waste formation in production processes has allowed, using numerous examples of research, to substantially refine the proposed calculation methods and bring them closer to practical application.

Although this part of the work has not yet generated some interest in the scientific community, we expect that there will be an inquisitive mind who will be able to give further impetus to this important area of waste generation. Or give it some other direction in research. Because we must be convinced that such mechanisms and cause-and-effect relationships in technological processes unambiguously reflect the ways and directions in which tomorrow's technologies must be developed, technologies which, in Gunter Pauli's terminology, provide an important impetus for the development of the «blue economy».

The work is still of a polemical nature, which the author brings to the discussion of all interested scientists in order to clarify and develop the essence of the phenomena underlying the nature of waste generation as a phenomenon related to human activity.

Received the understanding and development in the scientific environment, and, in particular, among the Ukrainian scientists, Gritsishen D. O., Buhkalo S. I., Kocheshkova I. N., Mikhno I. S., etc. during 2014–2018, the problem of the waste as object of commodity-money relations deserved more interest. Particularly, if we take into account that the costs of obtaining waste are a priori included in the cost of the main product, making the waste unpromising in advance for compulsory sale. Certainly, in this connection technologies of economic amortization of the waste deserve

attention. Exactly as they do with the depreciation of the main production assets. At least those components of the raw material base, which undergo completely different changes with the help of new sources of energy, are brought into a condition that allows them to give them the qualities of marketable products. The vast majority of existing technologies and the energy flows used to implement them do not allow this to happen. The book shows other ways to increase the marketability of all components of the commodity stream, ways that technologists from many industries should take a closer look at.

The direction in science outlined in the title of the monograph still has very few sustainable followers in the field of applied engineering, among specialists in the technical sciences, those who are responsible for the effectiveness of developed technologies for obtaining a wide variety of commercial products. What is needed today is not only knowledge about the nature of waste generation. The formation of a new technological psychology in applied engineering is extremely important. It is also important to have an appropriate legal framework, including at the international level, limiting the creation of traditional technologies focused only on the production of marketable products and not focused in any way on other components of the initial raw material base, spontaneously turning into unnecessary wastes. The monograph provides assurance that such approaches to existing technologies are among the most effective ways to minimize waste, namely, by suppressing it at the source of origin.

The variety of modern rules of waste management is in the field of unrecognized knowledge about the nature and mechanisms, which are the basis of the processes of formation and further existence of waste in the most various areas of human activity. Hence, in particular, so many inefficient, empirical approaches to waste management issues, based on their utilization, post-processing, using completely new sources of energy, aimed at new aggregate, structural and energy changes of the waste state. Approaches that do not provide radical effective solutions for humanity. To the best of his abilities, the author made an attempt to fill this gap. And to what extent this succeeded — the esteemed reader will judge.

Let us repeat that the monograph cannot claim to be exhaustive of the issues discussed here and related to them. As additional knowledge in the nature of waste generation accumulates, this knowledge can also be used in the proposed methods, clarifying and expanding their capabilities. And the second edition is a confirmation of this.

And in conclusion, I would like to express the hope that the monograph will arouse the reader's desire to reflect on the essence of the problems raised in it. I am sure that they are worth it.

Once again, I hope for the understanding and curiosity of our reader.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Закон — это формализованная мораль». Эти слова Великого украинца, Бориса Евгеньевича Патона не просто стоят эпиграфом нашей монографии. Мораль общества такова, какой она соотносится, в частности, с моралью самой Природы. Человек — это производное от Природы. Его развитие прошло последовательные этапы полного подчинения законам Природы, этапы рационального сосуществования с Природой и противоречивые этапы активного влияния на Природу, на ее объективные законы.

Сегодня никто не оспаривает то негативное влияние, которое оказывают всевозможные отходы человеческой деятельности не только на состояние окружающей среды. Но роль, которую в современном мире играют промышленные отходы, огромна и, по нагрузке на окружающую природную среду, несопоставима даже по сравнению с бытовыми отходами. На каждую тонну произведенных бытовых отходов сегодня в мире приходится 71 тонна полученных ранее промышленных отходов и других потерь самого различного качества. Они существенно влияют и на здоровье людей, и на мировую экономику, и на политические процессы, протекающие в мире, и на общественные отношения в целом. Отходы становятся не только препятствием на пути прогресса, но и являются своеобразной разменной монетой в самых разных межгосударственных отношениях. В определенной степени бытовые отходы уже приобретают качества товара после соответствующей переработки на заводах США, Швеции, других стран Европы. Либо после сортировки используются как энергетическое топливо. При этом строятся целые заводы по переработке мусора, его сортировке с использованием дополнительных источников энергии. Многие виды промышленных отходов также имеют свою целевую программу переработки и утилизации с целью использования в других отраслях. Следует отметить, что примерно 10–15% таких отходов находят себе подобное применение. Создаваемые современные технологии четвертого и особенно пятого технологических укладов, наукоемкие технологии завтрашнего дня в силу новизны не отличаются высоким отходообразованием. Однако, до теоретического минимума в отходообразовании еще весьма далеко. Самое главное, что даже в таких технологиях отсутствует какая-либо идеология радикального управления процессами отходообразования. В конечном результате, даже в технологиях пятого технологического уклада производство вначале производит отходы, а уж затем находятся способы их переработки, утилизации и др. Но вне собственно производства, к которому относится этот отход. К тому же более 70% производимой в мире продукции получают от технологий третьего уклада.

В книге недаром уделено важное место процессам отходообразования в нанотехнологиях. Потому, что существующее устойчивое мнение о том, что наукоемкие технологии спасут человечество от отходов, пока себя не оправ-

дывает. По существу, уход в наномир пока еще не состоялся. Продукция нанотехнологий вращается вокруг ультратонких покрытий других материалов, вокруг создания оболочек, смесей, узкого спектра изделий типа нанотрубок, то есть того, что пока не дает существенных преимуществ ни в технологиях получения товарной продукции, ни в технологиях подавления отходов в источнике возникновения. Теоретическое использование наноасемблеров (по Х. Дрекслеру), как инструмента для создания нанотехники нового поколения, пока не осуществилось на практике. И за прошедшие десять лет в мире почти ничего не изменилось, в том числе, в плане, если соотносить его с производством отходов.

А пока целые отрасли и заводы перекочевывают из Европы и США в страны третьего мира, где пока нет ограничивающего природоохранного законодательства, и где создаются новые свалочные полигоны, не требующие переработки отходов. Надо понимать, что такие способы борьбы с отходами не придают им эффективности. Существенных подвижек в сторону создания технологических процессов, направленных на одновременную переработку всех компонентов исходного сырья в полезную продукцию, как это показано в предыдущем издании, также почти не заметно.

Но не было бы второго издания этой книги, если бы автор вместе с рядом серьезных ученых из Киева, Харькова, Днепра, Запорожья, Санкт-Петербурга, Барселоны, Сизтла, Берлина, Вены, Вюрцбурга, Афин не отстаивали свою позицию о том, что *направление на минимизацию отходов в источнике возникновения является одним из наиболее эффективных не только для будущих технологий, но и для реконструкции существующих технологических процессов*. Именно поэтому в расширенной и переработанной монографии уделено много внимания исследованию самых различных современных и традиционных технологий, показаны направления их совершенствования, представлены результаты анализа древних технологий на предмет минимизации отходаобразования, что было способно привести к реальности совершенно новое направление в инженерной экологии — ретроэкологию, науку о методах и опыте защиты окружающей среды в далекой ретроспективе веков.

Кратко резюмируем некоторые особенности изложенного в монографии материала.

Природа отходаобразования может быть заключена в двух равнозначных составляющих: многокомпонентной сырьевой базе и локальном источнике энергии, который применяется в данном технологическом процессе. Как правило, исходному «полезному» компоненту сырьевой базы, в рамках любого существующего технологического процесса, соответствует такой энергетический ресурс, при помощи которого из него получается товарная продукция. Остальные компоненты сырьевой базы автоматически подпадают под действие этого же энергетического ресурса и в произвольной форме превращаются в отход.

Любой технологический процесс — это избирательное воздействие энергии на отдельные компоненты сырья. В основе этого явления лежит **свойство термодинамического двуединства** производственной системы. Смысл этого свойства заключается в том, что структурированная, многокомпонентная сырьевая база любого технологического процесса соотносится с воздействующей на нее энергией дуально: как сильно термодинамически неравновесная система, в результате которой из определенной части сырья получается полезная продукция, и, одновременно, как слабо неравновесная (или расположенная в зоне термодинамического равновесия) система, в результате которой из того же сырья появляется энергетически необработанный отход. Это свойство является неизбежной основой для любого из существующих технологических процессов в равной мере, как неизбежностью является и появление отхода.

Задача новых технологий состоит в том, чтобы в технологическом процессе каждому компоненту сырьевой базы отвечал такой источник энергии, который однозначно перерабатывал его вне зависимости от других компонентов сырьевой базы, до состояния полезного продукта.

Вывод заключается в следующем.

1. Требуемое многообразие источников энергии, принимающих участие в преобразовании сырьевых материальных потоков в рамках технологического процесса, должно быть направлено не только на преобразование избранных компонентов в полезную продукцию. Структура и качество энергии должны быть рассчитаны на согласованное преобразование всей номенклатуры компонентов сырья в полезную продукцию.

2. Основой для абсолютного большинства современных технологических процессов должен стать учет многокомпонентности сырья и соблюдение согласованности к нему со стороны поливариантно используемых источников энергии.

Мы, по-прежнему, исходим из известного постулата: не зная самого явления, невозможно эффективно им управлять. *Не имея точного механизма явления, благодаря которому в системах появляется отход, нельзя утверждать, что мы способны оптимально управлять этим отходом, минимизировать его, качественно перерабатывать.* Поэтому любые уточняющие или существенно изменяющие сведения в этой области становятся крайне интересными для того, чтобы более тщательно изучить механизмы появления и развития отходов в самых различных производящих системах. Существенный интерес проявляется к любым системным результатам, которые могут носить универсальный характер для любых технологий, например, термодинамическое двуединство технологического процесса, компонентное структурирование сырьевого потока, определение технологически эффективных источников энергии для целенаправленной

переработки *всех* компонентов такого потока, источников, оптимально вписывающихся в существующий технологический процесс, и многие другие.

Внимание, которое уделено во втором издании книги «Отходы и их природа» вопросам энергоэнтропии процессов отхоодообразования, связано именно с желанием отыскать и изучить объективные свойства процессов отхоодообразования в самых различных технологических системах, которые дадут основание для систематизации главных причин отхоодообразования. Небезосновательно автор принимает за основу именно энергетику, лежащую в основе получения как полезной продукции, так и отхода.

Неразрывное термодинамическое двуединство, характерное для воздействия некоторых источников энергии на все компоненты сырья, является основой любой из существующих технологий. Поэтому законы энергоэнтропии, поясняющие многое из природы отхоодообразования, присутствуют в нашем анализе в качестве основополагающих.

Мы, по-прежнему, видим нежелание ученых в области прикладных наук, специалистов-технологов уйти от стереотипов: главным для них по-прежнему остается получение того продукта, ради которого создано данное производство. Вне какой-либо привязки к многокомпонентности исходного сырья, одного из наиболее важных и главных качеств, являющихся ответственными за отхоодообразование. Вне всякого учета качества используемой энергии, как основы для переработки всех компонентов сырья. Вне всякой привязки к особенностям эффективности используемых источников энергии. Эти две причины — многокомпонентность сырья и поливариантность используемых источников энергии, и их требуемая согласованность, как основа минимизации отхоодообразования, пока не являются доминирующими ни для абсолютного большинства современных технологий, ни для технологов, создателей новых производств, авторов патентов на новые технологические процессы. Не говоря о традиционных, годами устоявшихся технологиях, которые опять-таки, являются высокоотходными и способствуют угнетению среды обитания не только человека, но и всего живого на Земле.

Автор не может претендовать на полноту исследований в области природы отхоодообразования хотя бы потому, что такие мировоззренческие предметы исследуются более глубоко и с самых различных сторон. Однако, следует быть уверенным, что постепенно эти процессы найдут свое место и станут доминирующими в сознании человечества, если иметь в виду глобальное негативное влияние отходов на природную среду, на возможности существования человека в этой среде, если учитывать их реальную опасность, заключающуюся в потере привычной среды обитания для человека. Значимость этих явлений несоизмеримо высока по отношению к той минимальной сумме знаний, которой обладает человечество в этой области — области знаний о природе явлений отхоодообразования.

Можно утверждать, что найдется не много областей знаний, тем более основополагающих для самого существования человека на Земле, которые были бы так слабо изучены, как теория и методология отходообразования. Парадоксальной при этом является почти полная очевидность и кажущаяся простота собственно таких процессов. Эти факторы от имени Природы уже сегодня играют злую шутку с человечеством, поставив его перед безальтернативным выбором, а завтра они же могут поставить перед человеком угрозу потери привычной среды обитания. Недаром великий прорицатель, ученый Г.С. Альтшуллер еще 30 лет тому небезосновательно фантазировал о бесприродном технизированном мире для человечества. Есть опасение, что этот мир уже наступает.

И, по-прежнему, следует быть уверенными, что только по-настоящему объективные знания в области таких явлений, как природа отходообразования, имеющие признанные связи с целенаправленными проявлениями человеческой активности, наряду с процессами производственной деятельности, а именно, трудовым и технологическим их наполнением, могут дать ответ на многочисленные вопросы — что делать и как избавляться от неизбежных отходов, сопутствующих любому производству. Собственно, глобальность процессов производства и равнозначная при этом глобальность процессов отходообразования дает нам понимание того, что к этим явлениям следует относиться не как к «надоевшей мухе», от которой как-то надо отбиваться, а как к объективному и крайне затратному процессу, в смысловом аспекте приравненному к мировоззренческим знаниям и современным технологиям. К этому подталкивает содержание настоящей монографии, которая в подобном плане будет полезна читателю. По крайней мере, автор рассчитывает на это.

В работе получила дальнейшее развитие методика исследования и определения теоретического минимума отходообразования, расширена область ее применения, в том числе, для технологий, которые уже были забыты в череде веков, когда они существовали как древние технологии, например, производство сыра, вина и строительство египетских пирамид, римских дорог и акведуков. Эта методика, а также методики оценки процессов отходообразования на основе свойств этого явления, могут составить основу для изменения многих существующих технологических процессов с учетом ретроспективных особенностей и забытого опыта предыдущих поколений. На многочисленных примерах показано, каким образом следует применять различные, в том числе альтернативные, источники энергии, способные системно воздействовать не только на избранные компоненты сырьевой базы, но и на большинство других компонентов, преобразование которых ранее в таких технологиях не предусматривалось. Пытливому ученому стоит тщательнее присмотреться к этим методикам и найти им применение в инженерном труде.

Мы оставили для обсуждения в книге материалы тринадцатой главы, в которой представлены исследования методического характера относительно

механизмов формирования отходов в самых различных технологических процессах. Расширенные знания о методологии формирования объективных механизмов отходообразования в производственных процессах позволили на многочисленных примерах исследований существенным образом уточнить предлагаемые методики расчетов и приблизить их к практическому применению.

И хотя эта часть работы пока не вызвала определенного интереса в научной среде, мы рассчитываем, что найдется пытливый ум, который сумеет придать дальнейший импульс развития этому важному направлению в области отходообразования. Либо придаст ему некоторое другое направление в исследованиях. Потому что следует быть убежденными, что такие механизмы и причинно-следственные связи в технологических процессах однозначно отражают пути и направления, по которым необходимо развивать технологии завтрашнего дня, технологии, которые, по терминологии Гюнтера Паули, дают важный импульс в развитии «синей экономики».

Работа, по-прежнему, носит характер полемиического материала, который автор выносит на обсуждение всеми заинтересованными учеными с целью уточнения и развития сущности явлений, лежащих в основе природы отходообразования, как феномена, относящегося к человеческой деятельности.

Получила свое понимание и развитие в научной среде, и, в частности, среди украинских ученых, Грицишен Д. О., Бухкало С. И., Кочешковой И. Н., Михно И. С. и др. в период 2014–2018 годы, заслуживающая большего интереса, проблема отхода как объекта товарно-денежных отношений. В особенности, если принять во внимание, что затраты на получение отхода априори закладываются в себестоимость основного продукта, делая отход заранее неперспективным для обязательной реализации. Безусловно, в связи с этим заслуживают внимания и технологии экономической амортизации отхода. В точности, как поступают с износом основных производственных фондов. По крайней мере, те компоненты сырьевой базы, которые претерпевают совершенно иные изменения при помощи новых источников энергии, приводятся в такое состояние, которое позволяет придавать им качества товарной продукции. Абсолютное большинство существующих технологий и применяемые для их реализации энергетические потоки не позволяют этого делать. Книга показывает иные пути повышения товарной значимости для всех компонентов сырьевого потока, способы, к которым следует присмотреться специалистам-технологам из многих отраслей промышленности.

Направление в науке, обозначенное в оглавлении монографии, пока имеет крайне мало своих устойчивых последователей в сфере прикладной инженерии, среди специалистов в технических науках, тех, кто отвечает за эффективность разрабатываемых технологий получения самых различных товарных продуктов. Сегодня необходимы не только знания в области природы отходообразования. Крайне важно формирование новой технологической психологии

в прикладной инженерии. Важна и соответствующая законодательная база, в том числе, и на международном уровне, ограничивающая создание традиционных технологий, ориентированных только на получение товарной продукции и никак не ориентированных на другие компоненты исходной сырьевой базы, спонтанно превращающиеся в ненужные отходы. Монография дает уверенность, что такие подходы к существующим технологиям являются одними из наиболее эффективных способов минимизации отходов, а именно, посредством их подавления в источнике возникновения.

Многообразие современных правил управления отходами находится в поле непознанных знаний о природе и механизмах, которые заключаются в основе процессов образования и дальнейшего существования отходов в самых различных областях человеческой деятельности. Отсюда, в частности, и такое количество неэффективных, эмпирических подходов к вопросам управления отходами, основанных на их утилизации, посттехнологической переработке, с использованием совершенно новых источников энергии, направленной на новые агрегатные, структурные и энергетические изменения состояния отхода. Подходов, не дающих радикальных эффективных решений для человечества. В меру своих сил автор сделал попытку, восполняющую этот пробел. И насколько это удалось — судить уважаемому читателю.

Повторим, что монография не может претендовать на исчерпаемость рассматриваемых здесь и сопутствующих им вопросов. По мере накопления дополнительных знаний в области природы отходообразования эти знания также могут быть использованы в предлагаемых методиках, уточняя и расширяя их возможности. И второе издание является подтверждением этому.

И в заключении хотелось выразить надежду на то, что монография вызовет у читателя желание поразмыслить над сутью поднятых в ней проблем. Уверен, что они того стоят.

Еще раз надеюсь на понимание и любознательность нашего читателя.

ЛІТЕРАТУРА

Вступ

1. Паулі Г. Синя економіка. 10 років, 100 інновацій, 100 мільйонів робочих місць». 2012. Изд. RRF. 353 с.
2. Гольденман Г. Ответственность за нанесение ущерба экологии и приватизация в Центральной и Восточной Европе. Монография. Берлин, 1993. 125 с.
3. Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Новый доклад Римскому клубу / Перевод А. П. Заварницына и В. Д. Новикова под ред. академика Г. А. Месяца. М. : Academia, 2000. 400 с.
4. Семиноженко В. П., Сталинский Д. В., Касимов А. М. Промышленные отходы: проблемы и пути решения. Харьков : Изд. Индустрия, 2011. 544 с.
5. Одум Г., Одум Ю. Энергетический базис человека и природы. М. : Прогресс, 1978.

Глава 1

1. Технологический процесс. Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Краткий экономический словарь. URL: <http://ekslovar.ru/>
3. Голубенко А. Л., Петров А. С., Кашура А. Л. Теория технических систем : Учебное пособие. К. : Арютей, 2005. 240 с.
4. Кириллов Н. П. Концептуальная модель объекта ситуационного управления функциональными состояниями технических систем. *Искусственный интеллект и принятие решений*. М. : РАН, 2012. № 4.
5. Осипова Г. И., Миронова Г. В. Экономика и организация производства. Учебное пособие. М. : МГУП, 2003. 322 с.
6. Управление производством : Альманах. URL: http://www.uppro.ru/library/production_management/systems/chto-takoe-ps.html.
7. Allbest. Производственная система. URL: https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00002785_0.html.
8. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-ХП (із змін., редакція від 18.12.2019 р.). URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.
9. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 р. № 2059-VIII. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.
10. Про поводження з радіоактивними відходами: Закон України від 30.06.1995 р. № 255/95-ВР (із змін., редакція від 01.01.2017 р.). URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/255/95-ВР>.
11. Кодекс України про надра від 27.07.1994 р. № 132/94-ВР (із змін., редакція від 01.01.2016 р.). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/132/94-ВР>.

12. Про екологічну експертизу: Закон України від 09.02.1995 р. № 45/95-ВР (із змін., редакція від 04.08.2016 р.). URL: .
13. Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755-VI (із змін., редакція від 10.09.2017 р.). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.
14. Реймерс Н. Ф. Охрана природы и окружающей человека среды. Словарь-справочник. М. : Просвещение, 1992. 318 с.
15. Ожегов С. И. Словарь русского языка. М. : Просвещение, 1964.
16. Реймерс Н. Ф. Природопользование. М. : Мысль, 1990. 261 с.
17. Управление промышленными отходами. Уч. пособие. В 2-х кн. Кн. 1. Гриценко А., Макаровский Е., Черванев И., Ширенко И. Промышленные отходы и окружающая среда в современном мире. Харьков : РИП «Оригинал», 2000. с. 80.
18. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалении. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/basel.pdf.
19. Закон України Про відходи від 05.03.1998 р. №187/98-ВР (Редакція станом на 09.05.2016). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>.
20. ОСТ 17.9.1.1-99. Классификация отходов. Межгосударственный стандарт. Минск, 1999. 24 с.
21. Витер И. И. Управление ресурсосбережением на основе экономических методов : автореферат канд. дисс. К., 1996. 24 с.
22. Зайцев В. А., Цыганов А. П. Основной путь решения проблем защиты окружающей среды – создание безотходных технологий. *Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева*. 1979. Т. 24. № 1. с. 3–12.
23. Экономические методы малоотходных и безотходных производств / под ред. Ю. П. Лебединского. К. : Наукова думка, 1987. 235 с.
24. Dasgupta P., Heal G. Economic Theory and Exhaustible Resources. Cambridge, Univ. Press. 1997. 128 p.
25. Гельвановский М., Трофимова И. Экология и ресурсосбережение. *Изд-во МЭИ-МО*. 1994. № 12. с. 126–137.
26. Семиноженко В. П., Сталинский Д. В., Касимов А. М. Промышленные отходы: проблемы и пути решения. Харьков : Индустрия, 2011. 544 с.
27. Филатов Е. В., Студенкова А. К., Реховская Е. О. Сохранение окружающей среды благодаря использованию малоотходных технологий. *Молодой ученый*. 2018. № 49. с. 96–98.
28. Бойко Н. И., Одарюк В. А., Сафонов А. В. Основные направления безотходных и малоотходных технологий. *Технологии гражданской безопасности*. Т. 12. № 1 (43). 2015. с. 68–72.
29. Грицишен Д. О. Відходи як об'єкт управління економіко-екологічною безпекою промислових підприємств. *Теорія і практика економіки та управління промисловими підприємствами*. № 2 (18). 2015. с. 72–81.
30. Липунов И. Н., Первова И. Г., Николаев И. В. К вопросу о рециклинге промышленных отходов. *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19. № 4. с. 24–29.
31. Кочешкова І. М., Трушкіна Н. В. Управління промисловими відходами як чинник забезпечення сталого розвитку національної економіки. *Забезпечення сталого розвитку економіки: проблеми, можливості, перспективи* : матеріали доповідей Міжнар. наук.-практ. конф. Ужгород : Видавничий дім «Гельветика», 2018. с. 90–92.

32. Міхно І. С. Методи утилізації відходів. Світовий досвід. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2015. № 2. с. 68–78.
33. Нормативно-правове регулювання розвитку сфери управління відходами в Україні / Н. В. Трушкіна, І. М. Кочешкова. *Вісник економічної науки України*. 2017. № 2 (33). с. 97–102.
34. Довга Т. М. Основні тенденції та закономірності утворення і переробки твердих побутових відходів в Україні. *Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка»*. 2012. № 10. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1491>.
35. Чупріна М. О., Федорова Ю. І. Проблеми і напрямки утилізації відходів в Україні та світі. *Збірник наукових праць молодих вчених факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. І. Сікорського «Актуальні проблеми економіки та управління»*. 2017. URL: <http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/102732>.
36. Соколовская Г. А., Сигарев Т. С. Ресурсосбережение на предприятиях. М. : Экономика, 1999. 155 с.
37. Савон Д. Ю., Абрамова М. А. Применение инновационных методов ресурсосбережения при переработке и утилизации отходов в производственной сфере. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. № 8. 2015. С. 280–288.
38. Скрипник А. В., Міхно І. С. Оптимізація утилізації відходів в Україні. *Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту*. Випуск 2 (17). 2014. с. 14–26.
39. Волошин В. С., Данилова Т. Г. Определение минимума отхообразования в технологиях биологической очистки. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : 7-ма науково-практична конференція. Алушта. 2011. с. 13–18.
40. Dash M. K. Sustainable use of industrial-waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete – A review. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2016, December. Vol. 5, Issue 2. P. 484–516.
41. Protection de L'Environnement. Utilization des geomembranes bitumineuses pour L'etancheite des Decharges. *Bitum actual*. 1996. P. 55–67.
42. Doifode S. K., Matani Ashok G. Effective industrial waste utilization technologies towards cleaner environment. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. 2015, January. Vol. 4. P. 536–540.
43. Щодо питання захоронення шкідливих відходів у надрах землі / Р. О. Дичковський, В. С. Фальштинський, М. М. Табаченко, Edgar Cáceres Cabana, А. О. Короткова. *Вісті Донецького гірничого інституту*. № 2 (41). 2017. с. 71–79.
44. Best available technology: Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Best_available_technology.
45. Development of geopolymer using industrial waste materials / Gábor Mucsi [et al.]. *The 9th International Conference «Environmental engineering»* (Vilnius, 22–23 May 2014 ye.). Vilnius, 2014. Vol. 9. P. 1–8.
46. Thekdi A. C., Nimbalkar S. U. Industrial Waste Heat Recovery-Potential Applications, Available Technologies and Crosscutting R&D Opportunities. OAK Ridge National Laboratory: Tennessee, 2014. 72 p.
47. Загальна характеристика промисловості України. URL: <http://ukrmap.su/uk-g9/912.html>.
48. Волошин В. С. Современные особенности производства при существующих технологических укладах с позиций процессов отхообразования. *Наука та виробництво*. 2019. Вип. 19. с. 289–296.

49. Каблов Е. Шестой технологический уклад. *Наука и жизнь*. М., 2010. № 4.
50. Рогозин Д. О. Робот встанет под ружьё. *Российская газета*. М., 2013. № 264 (6240).
51. Василенко В. Технологические уклады в контексте стремления экономических систем к идеальности. *Соціально-економічні проблеми і держава*. Тернополь, 2013. Т. 8. № 1. С. 65–72.
52. Садовничий В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю. Моделирование и прогнозирование мировой динамики. М. : ИСПИ РАН, 2012. 359 с.
53. Drexler K. Erik, Minsky M. Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology. 1987. Anchor. 227 p.
54. Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике / Под ред. с. Ю. Глазьева и В. В. Харитоновна. М. : Тривант, 2009. 304 с.
55. Волошин В. С. Особенности отхообразования в нанотехнологиях. Материалы 7-й научно-практической конференции «*Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*». Алушта. 2011. с. 23–27.
56. Волошин В. С. Природа отхообразования. Мариуполь : Рената, 2007. 666 с.
57. Бардаханов С. П., Ларичкин В. В., Корчагин А. И., Черепков В. В. Инженерные проблемы получение и применения нанопорошков для экологических приложений. *Известия академии промышленной экологии*. 2006. № 1. с. 20–25.
58. He L., Ma E. Structure and properties of nanocomposites. *Mat. Sci. Eng.* 1995. V. 20. № 4. P. 204–245.
59. Зайцев А. И., Садиков В. В., Соснин В. В. Нанокристаллические магнитно-мягкие сплавы – новый класс материалов. *Сталь*. 2004. № 5. с. 98–102.
60. Шевердяев О. Н. Нанотехнология. Состояние и перспективы. *Известия академии промышленной экологии*. 2006. № 1. с. 26–32.
61. Terrones M., Grobert N., Hsu W. K., Zhu Y. O., Hu W. B., Hare J. P. MRS Bulletin. 1999. V. 24. № 8. P. 43–49.
62. Валиев Ф. З., Александров Н. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М. : Логос, 2000. 272 с.
63. Акчурин М. Ш. Особенности деформирования кристаллов сосредоточенной нагрузкой : дисс. докт.ф.-м. наук. М. : ИКРАН, 2001. 232 с.
64. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure. *Acta Mater.* 2000. V. 48. № 1. P. 29–34.
65. Мычка С. Ю., Шаталов М. А. Формирование системы глубокой переработки отходов промышленно-производственных подсистем АПК. *Агротехника и энергообеспечение*. 2015. № 3 (7). с. 185–190.
66. Романова И. П., Бегунов О. Б. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности. *Территория науки*. № 2. -. 2016. с. 53–57.
67. Baidya R., Ghosh S. K., Ulhas P. V. Co-processing of industrial waste in Cement Kiln – A Robust system for material and energy recovery. *Procedia Environmental Sciences*. 2016. Vol. 31. P. 309–317.
68. Surface emission determination of volatile organic compounds (voc) from a closed industrial waste landfill using a self-designed static flux chamber / E. Gallego [et al.]. *Science of The Total Environment*. 2014, February. Vol. 470–471. P. 587–599.

69. Горстко А. Б., Домбровский Ю. А., Сурков Ф. А. Модели управления эколого-экономическими системами. М. : Экономика, 1994. 120 с.
70. Суворов И. В. Обобщающие показатели ресурсоемкости в народно-хозяйственных прогнозах. М. : Наука, 1999. 234 с.
71. Березюк О. В., Лемешев М. С. Стан поводження з твердими побутовими та промисловими відходами в Україні. *Научные труды SWorld*. Вып. 49. Т. 1. Иваново (Россия) : Научный мир, 2017. с. 69–73.
72. Трофімов І. Л. Оцінка впливу відходів побутового походження на екологічний стан України. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. 2014. Т. 2. № 10 (68). с. 25–39.
73. Трушкіна Н. В., Кочешкова І. М. Стан поводження з промисловими відходами в старопромислових регіонах. *Socio-economic development of regions: collective monograph*. 2017. с. 61–72.
74. Bajare D., Bumanis G., Korjamins A. New porous material made from industrial and municipal waste for building application. *Material Science*. 2014. Vol. 20. N 3. P. 333–338.
75. Арустамов Э. А., Волощенко А. Е., Гуськов Г. В. и др. Природопользование. М. : Изд. дом «Дашков и Ко». 2000. 284 с.
76. Склянкин Ю. В. Экономика безотходного производства. К. : Техника, 1989. 168 с.
77. Юсфин Ю. С., Леонтьев Л. И., Черноусов П. И. Промышленность и окружающая среда. М. : ИКЦ Академкнига, 2002. 496 с.
78. Xie H. Scientific and Engineering Progress in CO₂ Mineralization Using Industrial Waste and Natural Minerals. *Engineering*. 2015, March. Vol. 1. Issue 1. P. 150–157.
79. Бебчук Б. Ц., Варламова О. С., Гусев А. А. Особенности экономических оценок природопользования в условиях перехода к рынку. *Экономика и математические методы*. 1994. Т. 28. Вып. 5–6. с. 742–753.
80. Цокур О. С., Литвинова Т. А., Косулина Т. П. Применение наилучших доступных технологий для утилизации промышленных отходов. *IV Международная научная экологическая конференция*. Краснодар : Кубанский госагроуниверситет, 2015. с. 722–727.
81. Бойчук Л.М. Координуюче керування в технічних та природних системах. К. : Вид. ПК ім. В. М. Глушкова, 1992. 48 с.
82. Дорогунцов с. І. Удосконалення управління природокористуванням в АПК. К. : Урожай, 1992. 128 с.
83. Живодеров В. Г. Планирование и управление рациональным использованием минеральных ресурсов : автореферат канд. дисс. К., 1991. 24 с.
84. Новоселов А.С. Региональные распределительные отношения: проблемы формирования и регулирования. Препр. / ИЭОПИ. Новосибирск, 1999. 35 с.
85. Сергиенко И. В., Перепелица В. А. Многокритериальная задача природопользования и оптимальное распределение ресурсов. *Материалы международного конгресса по математике и информатике*. Веймер, 1987. с.89–90.
86. Schendel D. How to make good quality cullet. *Class Ind*. 1999. t. 71. № 2. P. 10–22.
87. Ahmed Kh. Hybrid composites prepared from Industrial waste: Mechanical and swelling behavior. *Journal of Advanced Research*. 2015, March. Vol 6, Issue 2. P. 225–232.
88. Кухарь В. П. Экотехнология. Оптимизация технологии производства и природопользования. К. : Наукова думка, 1989. 264 с.

89. Шикин Е. В., Чхартишвили А. Г. Математические методы и модели в управлении. М. : «Дело», 2002. 204 с.
90. Environmental Protection – Solid and Hazardous Waste Management. *Dep-t of Resources. S/Webster. Madison, Wisconsin. May, 1995.*
91. Recycling Facility. *Tyres and Access. 1999. № 9. P. 27.*
92. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М. : Наука, 1988. 286 с.
93. Пожарский Л. А. О методе эвристической технической диагностики// Техническая диагностика. М. : Наука, 1982. с. 285–288.
94. Сергеева Л. И. Исследование свойств векторных задач на графах: разрешимость, сложность, вырожденность : автореферат канд. дисс. Запорожье, 1996. 24 с.
95. Голубин А. К. Проблема отходов и возможные технологические, социальные и экологические конфликты, сопровождающие обращение с ними. Сб. : *Материалы XI международной научно-практической конференции.* Курск, 2017. с. 97–102
96. Лебединский Ю. П. Ресурсосбережение и экология. М. : Наука, 1996. 271 с.
97. Towards zero-waste valorisation of rare-earth-containing industrial process residues: a critical review / Koen Binnemans [et al.]. *Journal of Cleaner Production.* 2015, July. Vol. 99. P. 17–38.
98. Maplwston P. Large plant to expand soluble supply. *Mod. Plast. Int.* 1992. 22. № 1. P. 10–15.79.
99. Волошин В. с., Сменченко П. М. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах. Изд. Донеччина. 1997. 72 с.
100. Мамин Р. Г., Ветрова Т. П., Шилова Л. А. Инновационные механизмы управления отходами. М., 2013. 451 с.
101. Телиженко А. М., Шапочки Н. К., Губанова Е. Р. и др. Отходы – вторичные ресурсы: управление, экономика, организация : коллективная монография : в 2-х т. Т.2. Сумы : СумГУ, 2013. 258 с.
102. Голубин А. К., Ставровский М. Е. Основы функционирования систем обращения с отходами: монография. М. : Изд. РИАМА, 2009. 349 с.
103. Акимов В. А., Соколов Ю. И. Риски при обращении с отходами производства и потребления. М. : Изд.: ВНИИГОиЧС. 2014. 372 с.
104. Паулі Г. Синя економіка. 10 років, 100 інновацій, 100 мільйонів робочих місць». 2012 . Изд. RRF. 353 с.

Глава 2

1. Волошин В. С., Семенченко П. М. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах. Донецк : Изд. Донеччина, 1997. 71 с.
2. Волошин В. С. Заглушення відходоутворення в джерелі виникнення – сучасний виклик у технологічних процесах. *Національний форум «Поводження з відходами в країні: законодавство, економіка, технології».* Київ. 2018. с. 199–200.
3. Губинский А. И., Диденко В. Я., Решиков М. Ю., Юхтенко В. А. Методические рекомендации по моделированию эргатических систем с помощью ЭВМ. М. : Изд. ВИНТИ, 1981. 39 с.

4. Губинский А. И., Ротштейн А. П., Лачашвили Р. А., Чабаненко П. П. Новые подходы к описанию и оценке эрготехнических систем. М. : Изд. ВИНТИ, 1981. 75 с.
5. Зараковский Г. М., Павлов В. В. Закономерности функционирования эргатических систем. М. : Радио и связь, 1987. 232 с.
6. Кузнецов П. Г. Теоретические основы разделения редкоземельных элементов и методы оценки эффективности разделения : дисс. на соиск. уч. ст. канд. хим. наук./ Московский гос. педагогический институт им. В. И. Ленина. М: 1965. 151 с.
7. Кузнецов П. Г., Стахеев Ю. И. Термодинамические аспекты труда как отношения человека к природе. В сб. *Природа и общество*. М. : Наука, 1968. с. 298–311.
8. Моисеев Н. Н. Экология человечества глазами математика. (Человек, природа и будущее цивилизации). М. : Молодая гвардия, 1988. 254 с.
9. Кузнецов П. Г., Соколов В. А., Седин И. К. К вопросу об оценке эффективности метода разделения сложных смесей. В кн.: *«Разделение и анализ углеводородных газов»*. М., 1962. с. 114–121.
10. Hollister H. L., Burington A. J. Pricing Enriched Uranium. *«Nucleonics»*, 1958. V. 16. № 1.
11. Тринчер К. С. Биология и информация. Элементы биологической термодинамики. М. : Изд. Наука, 1965. 119 с.
12. Аверин Г. В. О принципе существования и законе возрастания энтропии в свете общесистемных представлений системодинамики. *Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе*. Донецк : ДНТУ. № 1 (8). 2015. с. 15–44.
13. Аверин Г. В., Звягинцева А. В. Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа. *Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе*. Донецк : ДонНТУ. № 1(4)–2(5). 2013. с. 26–38.
14. Волошин В. С., Данилова Т. Г., Скударь О. Н. Исследование причин образования отходов тарно-упаковочных изделий. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Вип. 17. 2007. с. 215–219. (Серія : Технічні науки).
15. Слабій В. Г. Законодавчі ініціативи у сфері управління відходами упаковки. Національний форум *«Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології»*. Київ. 2018. с. 157–158.

Глава 3

1. Сент-Дьердьи А. Биоэнергетика (Bioenergetics, 1957) / Пер. с англ. П. Л. Привалова ; под ред. Л. А. Тумермана ; с предисловием А. Н. Теренина. М. : Физматгиз, 1960. 336 с.
2. Бауэр Э. С. Теоретическая биология. М. : Изд. ВИЭМ, 1935. 151 с.
3. Подолинский С. А Труд человека и его отношение к распределению энергии. *Слово*, 1880. тт. IV–V. с. 135–211.
4. Кузнецов П. Г., Стахеев Ю. И. Термодинамические аспекты труда как отношения человека к природе. *Природа и общество*. М. : Наука, 1968. с. 298–311.
5. Харкевич А. А. Рассуждения о коэффициенте полезного действия. *Вестник АН СССР*. 1965. № 6.

6. Ерохина Е. А. Теория экономического развития: системно-синергетический подход. Глава 2, параграф 1. URL: <http://ek-lit.narod.ru/eroh/1-2.html>.
7. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. Изд. 2-е. М. : Едиториал УЗСС, 2003. 280 с.
8. Prigogin I. Unity of Physical Laws and Levels of Description. In *Reducibility*, ed by M. Greene, Study Group on the Unity of Knowledge, University of California. 1970.
9. Кузнецов П. Г. Возможности энергетического анализа основ организации общественного производства. *Эффективность научно-технического творчества*. М. : Наука, 1968. с. 165–211.
10. Ченери Х. Б. Исследования структуры американской экономики / под ред. В. Леонтьева ; пер. с англ. М. : ГСИ, 1958. 568 с.
- 11 Алексеев Г. Н. Энергоэнтропика. М. : Знание, 1983. 192 с.
12. Кузнецов П. Г. Искусственный интеллект и разум человеческой популяции. В кн.: Александров Е. А. Основы теории эвристических решений. М. : Сов. Радио, 1975. с. 212–246.
13. Альтшуллер Г. С., Злотин Б. С., Зусман А. В., Филатов В. И. Поиск новых идей: от озарения к технологии. Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1989. 381 с.
14. Орлов М. А. Нетрудная ТРИЗ. Универсальный практический курс. М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2011. 384 с.
15. Глазунов В. Н. Поиск принципов действия технических систем. М. : Речной транспорт, 1990. 111 с.
16. Волошин В. С. Линия развития технической системы в направлении ее согласования. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. статей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 11–15 вересня 2017 р.). Х. : Райдер, 2017. с. 101–105.
17. Волошин В. С. В чем ошибались египтологи (к вопросу об отходах при строительстве египетских пирамид). Сб. *«Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»*. VIII наук. конф. Харків, 2012. Т. 2. с. 3–7.
18. Волошин В. С., Елистратова Н. Ю. Отходы в строительной индустрии Древнего Рима. Сб. *«Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»*. IX науково-практична конференція. Зб. праць. Харків–Алушта, 2013. Т. 2. с. 7–13.
19. Энергетика мира и перспективы ее развития. М.–Л., 1964.
20. Данилова Т. Г., Волошин В. С. Управление экологическим риском при обращении с промышленными отходами. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наук. праць / ПДТУ. Маріуполь, 2003. Вип. 13. с. 288–291. (Серія : Технічні науки).
21. Linkage methods for environment and health analysis. General Guidelines. WHO, Geneva, 1996.
22. Буянов В. П., Кирсанов К. А., Михайлов Л. А. Рискология. Управление рисками. М. : Изд. Экзамен, 2001. 384 с.
23. Хэнли Э. Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / пер. В. С. Сыромятникова, Г. С. Деминой. М. : Машиностроение, 1984. 528 с.
24. Хохлов Н. В. Управление риском. М. : Изд. ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 239 с.
25. Измалков В. И., Измалков А. В. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. СПб. : Изд. НИЦЭБ РАМ, 1998. 4982 с.

26. Машков О. А., Жукаускас С. В., Нігородова С. А. Методика формування оцінки екологічного ризику поводження з відходами в Україні. Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології». Київ, 2018. с. 88–91.
27. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М. : Мир, 1990. 344 с.
28. Постон Т., Стьюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М. : Мир, 1980. 607 с.

Глава 4

1. Волошин В. С., Семенченко П. М. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах. Донецк : Изд. Донеччина, 1997. 71 с.
2. Мамин Р. Г., Ветрова Т. П., Шилова Л. А. Инновационные механизмы управления отходами. М., 2013. 451 с.
3. Голубин А. К. Проблема отходов и возможные технологические, социальные и экологические конфликты, сопровождающие обращение с ними. Сб. : *Материалы XI международной научно-практической конференции*. Курск, 2017. с. 97–102.
4. Thekdi A. C., Nimbalkar S. U. Industrial Waste Heat Recovery-Potential Applications, Available Technologies and Crosscutting R&D Opportunities. OAK Ridge National Laboratory: Tennessee, 2014. 72 p.
5. Development of geopolymer using industrial waste materials / Gábor Mucsi [et al.]. The 9th International Conference «*Environmental engineering*» (Vilnius, 22–23 May 2014 ye.). Vilnius, 2014. Vol. 9. P. 1–8.
6. Трушкіна Н. В., Кочешкова І. М. Стан поводження з промисловими відходами в старопромислових регіонах. *Socio-economic development of regions : collective monograph*. 2017. с. 61–72.
7. Меняев М. Ф. Цифровые системы управления техническими процессами в полиграфии : учебное пособие. М. : МГУП, 2006. 126 с.
8. Коваленко А. Н. Управление рабочими потоками : уч. пособие. М. : МГУП, 2004. 110 с.
9. Кулакова Ю. В. Анализ информационных потоков в системе управленческого учета предприятий АПК : канд. дисс. Орел, 2012. 163 с.
10. Каменских С. Н., Широков А. А. Анализ информационных потоков промышленного предприятия. Научно-технический вестник Поволжья. *Технические науки*. Пермь, 2017. с. 125–127.
11. Рисин И. Е., Трещевский Ю. И. Управление изменениями и противоречиями в социально-экономических системах. *Вестник ВГУ. Сер.: Экономика и управление*. Воронеж, 2003. с. 76–82.
12. Автономов В. С. Модель человека в экономической теории и других социальных науках. М. : МГУ, 1998. 446 с.

Глава 5

1. Пал М. Х. Энергия и защита окружающей среды. Падерборн : Изд-во FIT-Verlag, 1996. 449 с.
2. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение / пер. с англ. В. Ф. Пастушенко. М. : Мир, 1990. 344 с.

3. Picraux S., Choyke W. (eds.) *Metastable materials formation by ion implantation*, North-Holland, Amsterdam, 1982. 72 p.
4. Balakrishnan V., Bottani C. (eds.). *Mechanical properties and behavior of solids-plastic instabilities*, World Scientific, Scientific, Singapore, 1986.
5. Marchal C. Chaos as the true source of the irreversibility of time. XXIV Workshop of High Energy Physics and Field Theory, Protvino, 2001.
6. Канке В. А. Основные философские направления и концепции науки. Итоги XX столетия. М. : Логос, 2000. 265 с.
7. Лешкевич Т. Г. *Философия науки: традиции и новации : уч. Пособие*. М. : ПРИОР, 2001. 428 с.
8. Мелик-Гайказян И. В. Методология моделирования взаимосвязей необратимости, сложности и информационных процессов. Журн. «*Бюллетень сибирской медицины*». Вып. № 5. Т. 5. 2006. с. 101–114.
9. Пригожин И., Стингерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой : пер. с англ. / общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича, Ю. В. Сачкова. Изд. 5-е. М. : КомКнига, 2005. 296 с.
10. Волошин В. С. *Теория графов в инженерных расчетах*. Киев : Освита Украины, 2016. 214 с.
11. Кирилин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. *Техническая термодинамика*. М. : Энергия, 1974. 448 с.
12. Аверин Г. В. О принципе существования и законе возрастания энтропии в свете общесистемных представлений системодинамики. *Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе*. № 1 (8). 2015. с. 8–37.
13. Аверин Г. В. Системодинамика: наука о закономерностях процессов изменения и развития систем в времени. Palmarium Academic Publishing, 2014. 488 с.
14. Удельная теплоемкость воды. URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkostej/voda-i-rastvory/udelnaya-teploemkost-vody>.
15. Einstein A., Ritz W. *Phys. Zeitschr.* 1909. Bd. 10. S. 323; русс. пер.: Эйнштейн А., Ритц В. К современному состоянию проблемы излучения / Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 3. М. : Наука, 1966. с. 180.
16. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. М. : Наука, 2003. 428 с.
17. Крахт Л. Н., Меркер Э. Э., Кем А. Ю., Степанов В. А. Металлизированные железорудные окатыши и повышение эффективности их применения при электроплавке стали в дуговой печи. *Вестник Донского государственного технического университета*. Вып. № 3 (82). Т. 15. 2015. с. 35–40.
18. Меркер Э. Э., Черменев Е. А. Электроплавка металлизированных окатышей в дуговой печи. Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2015. 320 с.
19. Мартюшев Л. М., Селезнев В. Д. Принцип максимальности производства энтропии в физике и смежных областях. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 83 с.
20. Amigó J. M., Kennel M. B., Kocarev L. The permutation entropy rate equals the metric entropy rate for ergodic information sources and ergodic dynamical systems. *Physica D: Nonlinear Phenomena* V. 210, Iss. 1–2, 1 October 2005. P. 77–95.
21. Zunino L., Pérez D. G., Martín M. T., Garavaglia M., Plastino A., Rosso O. A. Permutation Entropy Of Fractional Brownian Motion And Fractional Gaussian Noise. *Physics Letters A*. V. 372. Iss. 27–28, 2008. P. 4768–4774.

22. Климонтович Ю. Л. Введение в физику открытых систем. М. : «ЯнусК», 2002. 284 с.
23. Борисов И. С. О принципе минимального производства энтропии. ИФЖ, Т. 31. № 4. 1976. с. 265–277.
24. Гухман А. А. Об основаниях термодинамики. М. : Энергоатомиздат, 1986. 383 с.
25. Шамбадаль П. Развитие и приложения понятия энтропии. М. : Наука, 2007. 145 с.
26. Агуреев И. Е., Гладышев А. В. Динамика производства и спроса в диссипативной модели логистической системы. *ИзвестияТулГУ. Технические науки*. 2013. Вып. 6. Ч. 2. с. 152–160.
27. Различные формы энтропии. *Market journal*. URL: <http://www.market-journal.com/voprosiupravleniya/2.html>.
28. Энтропия и сущность теории И. Пригожина. URL: <http://www.market-journal.com/voprosiupravleniya/9.html>.
29. Алексеев Г. А. Энергоэнтропика. М. : Знание, 1983. 192 с.
30. Одум Г., Одум Ю. Энергетический базис человека и природы. М. : Прогресс, 1978.
31. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М. : Мир, 1966. 284 с.
32. Алексеев Г. А. Преобразование энергии. М. : Наука, 1966. 231 с.
33. Князев Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики – синергетическое мировидение. 2-е изд. М. : КомКнига, 2005. 238 с.
34. Пригожин И. Р. Химическая термодинамика. Изд. 2-е перераб. М. : Изд. Бином, 2010. 533 с.
35. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М. : Мир, 1973. 280 с.
36. Пригожин И. Р. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках : пер. с англ. / общ. ред. Ю. Л. Климонтовича. Изд. 3-е. М. : КомКнига, 2006. 296 с.
37. Winfree A. Rotating Chemical Reactions. *Scientific American*. 1974. Vol. 230. P. 82–95.
38. Prigogine I., George C. The Second law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1983. Vol. 80. P. 4590–4594.
39. Пригожин И. Р. Неравновесная статистическая механика. Изд. 3-е / пер. с англ. В. А. Белокопя и В. А. Угарова ; под ред. Д. Н. Зубарева. М. : Мир, 1964. 314 с.
40. Коротеев С. М. Энтропия и информация – универсальные естественнонаучные понятия. 2002. 350 с. URL: <http://www.chronos.msu.ru>.

Глава 6

1. Cahn R. W. *Physical Metallurgy*, University of Sussex, England, 1965.
2. Савченко А. Расхождение подходов ко второму закону термодинамики и фазовым равновесиям. . URL: <http://www.proatom.ru/modules.php? name=News&file=article&sid=6391&mode=flat&order=1&thold=0>.
3. Chambers R. J. *Accounting, Evaluation and Economic Behavior*. Sydney University Press, 2006. 451 p.
4. Крик Э. Теория энтропийной логики Теодора Ван Ховена и расширяющиеся горизонты естествознания. М.: 1998. 276 с.

5. Дж. К. Максвелл. «По случаю поступления Больцмана о нормальном распределении энергии в системе материальных точек», Труды по кинетической теории, Би-номер Лаборатория знаний, М., 2011. с. 321–351.
6. Swalin R. A. *Thermodynamics of Solids*. New York·London, John Wiley & Sons, Inc., 1967. P. 156–160.
7. Коттрелл А. *Строение металлов и сплавов*. М. : Metallurgizdat, 1961, с. 196–201.
8. Веденяпин В. В., Аджиев С. З. Энтропия по Больцману и Пуанкаре. // *Успехи математических наук*. Т. 69, вып. 6(420). 2014. с. 45–80.
9. Micadei K., Peterson J., Souza A. and oth. Reversing the direction of heat flow using quantum correlations. *Quantum Physics*. URL: //https://arxiv.org/abs/1711.03323
10. Бриллюэн Л. *Научная неопределенность и информация*. (Изд. 2-е стереотипное : пер. с англ. И. В. Кузнецова). М. : Изд. Ком Книга, 2006. 272 с.
11. Переписать второй закон термодинамики и выжить. //https://habr.com/ru/company/skillfactory/blog/675948/
12. Abdel-Khalik A. R. The Entropy Law, Accounting Data, and Relevance to Decision-Making // *Accounting Review*. April 1974. Vol. 49. № 2. Pp. 271–283.
13. Blinder A. S. Financial Entropy and the Optimality of Over-Regulation Griswold Center for Economic Policy Studies. Working Paper № 242. November 2014. 32 p.
14. Ustinova Y. The Measurement and Management of the Accounting System Entropy Level // *Учет и отчетность*. 2018. № 62. с. 41–49.
15. Penrose R. *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*. New York: Knopf, 2005. 1099 p.
16. Ракин В. И. Энтропия как интеллектуальный оселок для исследователя. *Управление наукой: теория и практика*. 2022. Т. 4 №1. с. 54–67.
17. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации / под ред. Ю. А. Чизмаджаева. Изд. 2-е. М. : Едиториал УРСС, 2003. 280 с.
18. Onsager L., *Phys. Rev.*, 1931. № 37. P. 405.
19. Prigogine I. *Non-Equilibrium Thermodynamics, Variational Techniques and Stability*. Univ. of Chicago and London, 1965. 184 p.
20. Monneville P. *Dissipativ Structures and Weak Turbulence*. Academic Press, London, 1990. 72 p.
21. Алексеев Г. А. *Энергоэнтропика*. М. : Знание, 1983. 192 с.
22. Пригожин И., Стингерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой : пер. с англ. / общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича, Ю. В. Сачкова. Изд. 5-е. М. : КомКнига, 2005. 296 с.
23. Пригожин И. Р. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках : пер с англ. / Общ. ред. Ю. Л. Климонтовича. Изд. 3-е. М. : КомКнига, 2006. 296 с.
24. Пригожин И. Р. *Неравновесная статистическая механика* Изд. 3-е / пер. с англ. В. А. Белокопя и В. А. Угарова; под ред. Д. Н. Зубарева. М. : Мир, 1964. 314 с.
25. Волошин В. С. Место отходообразования в термодинамическом многообразии производственных систем. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. статей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 11–15 вересня 2017 р.). Х. : Райдер, 2017. с. 94–100.
26. May Robert M. Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature*. 261 459-67. 1976. P. 85–93.

27. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М. : Мир, 1980. 607 с.
28. Малюк А. А. Энтропийный подход к моделированию систем и процессов защиты информации. *Безопасность информационных технологий*. 2011. № 4. с. 15–19.
29. *Металлургия стали* / под ред. В. И. Явойского, Г. Н. Ойкса. М. : Metallurgia, 1973. 816 с.
30. Квашнин И. М. Промышленные выбросы в атмосферу. Инженерные расчеты и инвентаризация. М. : АВОК-ПРЕСС, 2005. 392 с.
31. Евстигнеева Л. П., Евстигнеев Р. Н. Экономика как синергетическая система. РАН. Ин-т экономики. Изд. 2-е. М. : ЛИБРОКОМ, 2010. 266 с.
32. Корольков Б. П. Термодинамические основы самоорганизации : монография. Иркутск : ИрГУПС, 2011. 120 с.
33. Волошин В. С. К вопросу о понимании процессов подавления отхообразованиия в источнике возникновения. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наукових праць / ПДТУ. Маріуполь, 2016. Вип. 33. с. 206–213. (Серія: Технічні науки).
34. Steel Industry Co-products. Fact Sheet / World Steel Association. URL: www.worldsteel.org/en/dam/jcr:1b916a6d-06fd-4e84-b35d-c1d911d18df4 2016pdf.
35. Потапнев М. П. Аутофагия, апоптоз, нкроз клеток и иммунное распознавание своего и чужого. Минск : Иммунология. № 2. 2014. с. 95–102.
36. Mintern J. D., Villadangos J. A. Autophagy and mechanisms of effective immunity. *Front. Immunol.* 2012; 3: 60.
37. Underhill D. M., Goodridge H. S. Information processing during phagocytosis. *Nature Rev. Immunol.* 2012; 12 (7): 492–502.
38. Kono H., Rock K. L. How dying cells alert the immune system to danger. *Nature Rev. Immunol.* 2008; 8 (4): 279–89.
39. Statistics / The European Association representing Metallurgical Slag producers and processors. 2016.
40. Довкілля України за 2016 рік: статистичний збірник / державна служба статистики України. К., 2017. с. 111–112.
41. Краснянский М. Е Утилизация и рекуперация отходов : уч. пособие. 2-е изд. Харьков : Бурун Книга, 2007. с. 37.
42. Филоненко А. В. Повышение эффективности утилизации крупнотоннажных промышленных отходов на предприятиях черной металлургии Украины. *Экология и промышленность*. № 2. 2019. с. 78–89.
43. Смирнов А. А., Шичков А. Н. Организация раскроя листового металла с учетом деловых материальных ресурсов на машиностроительном предприятии. *Вестник ЮРГТУ (НПИ)*. 2017. № 4. с. 22–33.
44. Валиахметова Ю. И., Филиппова А. С. Теория оптимального использования ресурсов Л. В. Канторовича в задачах раскроя упаковки: обзор и история развития методов решения. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2014. № 1. с. 186–197.
45. Калмыкова Ю. С., Хоботова Э. Б., Толмачев С. Н., Уханева М. И. Отвалный доменный шлак как техногенное сырье для производства вяжущих материалов. *Экология и промышленность*. № 4. УкрГНТЦ «Энергосталь». Харьков, 2011. с. 102–109.

46. Шлаки черной металлургии. Тематич. отраслевой сборник / под ред.: Л. А. Смирнова, А. А. Дерябина. УралНИИЧерМет, Свердловск, 1990. 110 с.
47. Панишев Н. В., Бигеев В. А., Черняев А. А. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна с извлечением цинка. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2013. № 4. с. 26–29.
48. Семиноженко В. П., Сталинский Д. В., Касимов А. М. Промышленные отходы: проблемы и пути решения. Индустрия, Харьков. 2011. 544 с.
49. Калмыкова Ю. С. Применение отвальных доменных шлаков с получением шлакощелочных вяжущих. *Экология и промышленность России*. № 3. 2014. с. 21–25.
50. Экономическая эффективность припечного способа переработки доменных шлаков / Р. А. Менаджиев, А. В. Паршаков. *Шлаки черной металлургии, их переработка и использование*. Тематич. отраслевой сб. под ред. Л. А. Смирнова. Свердловск, УралНИИЧермет. 1990. с. 15–19.
51. Сержанов Г. М., Шевко В. М., Лавров Б. А., Аманов Д. Д. Термодинамическое восстановление кремния из оксида алюминием. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 11-2. с. 161–166. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7698>.
52. Дюльдина Э. В., Кочержинская Ю. В. Физикохимия доменных шлаков. *Известия Челябинского научного центра*. 2003. Вып. 4 (21). с. 96–104.
53. Иванов О. С., Рыбак В. Н. Математическое моделирование удельного электрического сопротивления шлаков ЭШП. *Литье и металлы*. №1 (88), 2017.
54. Сотников А. И. Строение границы металл-оксидный расплав и особенности электрохимических методов в металлургических системах. *Физико-химические исследования металлургических процессов*. Вып. 2. Свердловск : УПИ, 1964. с. 40–49.
55. Mills K. C., Yuan I., Jones R. T. Estimating the physical properties of slag. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2011. Vol. 111. P. 649–658.
56. Шалимов М. П. Компьютерное моделирование электрохимических экспериментов. *Высокотемпературные расплавы*. № 1. 1997. с. 94–98.
57. Добрынина Н. Ю., Барбина Т. М., Ватолин А. Н. Электрохимия расплавов : учебное пособие. Изд. Уральский университет, 2018. 349 с.
58. Утелбаев Б. Т., Алшимбаева Д. У., Сулецменов Э. Н. Электропроводность металлургических шлаков при фазовых переходах. *Наука и мир*. Т. 1. № 11 (27). с. 41–44.
59. Есин О. А., Гельд Н. В. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. 2. Изд. 2-е. М. : Металлургия, 1966. 703 с.
60. Циватая Н. А. Современные взгляды на строение металлургических шлаков. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб. науч. тр. Днепропетровск : ИЧМ НАН Украины, 2014. Вып. 28. с. 223–240.
61. Жило Н. Л. Формирование и свойства доменных шлаков. М. : Металлургия, 1974, 120 с.
62. Зайцев А. И., Шахпазов Е. Х. Развитие современной теории металлургических шлаков. *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. с. 153–159.
63. Васильев В. Е. Доменная плавка на устойчивых шлаках. Киев : Укртехиздат. 1956. 260 с.

64. Свойства жидких шлаков / Воскобойников В. Г., Дунаев Н. Е., Михалевич А. Г. и др. М. : Металлургия. 1975. 184 с.
65. Лагаш Ю. В., Медовар Б. И. Электрошлаковый переплав, М., 1970. 240 с.
66. Казачков Е. А., Чепурной А. Д. Электрошлаковый переплав. Ч. 1. Мариуполь : ПГТУ, 1995. 83 с.
67. Чуманов В. И., Чуманов И. В. Повышение эффективности электрошлакового процесса и улучшение качества металла вращением расходуемого электрода. *Электротехнология*. № 9. 2009. с. 36–41.
68. Волошин В. С. Пять тезисов в теорию и методологию управления отходами (по материалам книги «Природа отходообразования»). *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наук. праць / ПДТУ. Маріуполь, 2010. Вип. 21. с. 136–140. (Серія : Технічні науки).
69. Волошин В. С. Перспективы методологий подавления отходов в источнике их возникновения. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. статей XV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 9–13 вересня 2019 р.). ПП «Стиль-Іздат», 2019. с. 94–98.

Глава 8

1. Волошин В. С. Роль модификаций и компонентности сырья с точки зрения технологических процессов отходообразования. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». Маріуполь, 2019. Вип. 39. с. 193–200. (Серія : Технічні науки).
2. Волошин В. С., Семенченко П. М. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах. Донецк : Донеччина, 1997. 72 с.
3. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках / пер. с англ. ; под ред. Ю. Л. Климонтовича. Изд. 3-е. М. : КомКнига. 2006. 296 с.
4. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного : пер с англ. М. : Мир, 1990. 334 с.
5. Разуваев Н. И. Комплексная переработка вторичных продуктов виноделия. М., 1995.
6. Коротаев А. Г., Начева Т. А. Использование барды в практике коньячного производства. *Виноградарство и виноделие*. Киев.
7. Валушко Г. Г. Технология виноградных вин. Симферополь : Таврида, 2001. 624 с.
8. Гайон Ж. Р. Теория и практика виноделия. Т. 3. Способы производства вин. Превращения в винах. М. : Пищевая промышленность, 1980. 480 с.
9. Винная кислота. URL: <http://vesvnorme.net/zdorovoe-pitanie/vinnaja-kislota.html>.
10. Волошин В. С. Опыт подавления отходов в источнике возникновения для некоторых производственных процессов. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. статей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 11–15 вересня 2017 р.). Х. : Райдер, 2017. с. 112–123.
11. Кабанов Ю. А., Столярский О. А., Агапеев Е. Н. Извлечение и подготовка к использованию скрапа из отвальных сталеплавильных шлаков. *Металлург*. 2006. № 1. с. 80.
12. Климушкин А. Н., Кабанов Ю. А., Столярский О. А., Агапеев Е. Н. Отчет по теме: «Разработка и освоение новых технологических схем утилизации отходов металлургического передела ОАО «АМТ». 2004. 45 с.

13. Бойченко Б. М., Охотський В. Б., Харлашин П. С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія : підр. Дніпропетровськ : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. 454 с.
14. Харлашин П. С. Мышьяк в металлургических расплавах, процессах, технологиях. К. : Вища школа, 2007. 538 с.
15. Способ переработки фосфорсодержащих отходов / Классен П. В., Черненко Ю. Д., Завертяев Т. И. и др. Пат. РФ №1773893 URL: <http://www.findpatent.ru/patent/224/2243196.html>.
16. Смирнов Л. Л., Клейн А. Л. Передел фосфористого чугуна в большегрузных кислородных конвертерах. М. : Металлургия, 1987. 168 с.
17. Коневский М. Р., Мухамбедьяров Е. Т., Рябошук С. В. Фосфористые ферросплавы. Методы получения, сорта и их качество. *Черные металлы*. 2013. № 12. с. 9–12.
18. Степанов Ю. С. Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технических тканей. М. : Машиностроение, 2004. 240 с.
19. Волошин В. С. Опыт минимизации энтропии, как показателя снижения отходов в источнике возникновения. На примере раскроя листового металла. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14–18 вересня 2020 р.). ПП «Стиль-Іздат», 2020. с. 115–124.
20. Моськина Е. Л. Оптимизация параметров раскроя синтетических тканей на стационарной раскройной ленточной машине : канд. дисс. URL: <http://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-parametrov-raskroya-sinteticheskikh-tkanei-na-statsionarnoi-raskroinoi-lentoch#ixzz4ZFfcyD5l>.
21. Мудров В. В., Некрасов Ю. Н., Моськина Е. Л., Чернышев В. И. К вопросу повышения точности раскроя материалов на стационарных ленточных машинах. *Вестник ДИТУД*. Димитровград, 2002. № 4 (14). с. 53–56.
22. Бартнев Г. М., Зуев Ю. С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов. М. : Химия, 1964. 387 с.
23. Базюк Г. П., Михайлов-Тепляков В. А. Автоматизированный способ раскроя материалов лучом лазера. *Легкая промышленность*. Киев, 1970. № 5. с. 13–15.
24. Программы для раскроя. ТПК «СоюзСтройДеталь». URL: <http://info.ssd.su/po/raskroy.php>.
25. Методы и технологии резки листового материала. URL: <http://promexcut.ru/metody-i-tekhnologii-rezki-listovogo-metalla> (дата обращения: 5.11.2015).
26. Кавун И. И. Гусев В. Г. Повышение эффективности способов раскроя листового материала. *Master's Journal*. 2016. № 1. с. 61–66.
27. Гиль Н. И., Комяк В. М., Опанасюк А. Б. Об одном алгоритме составления рациональных схем раскроя однотипных листов на многосвязные заготовки. *Теория и методы автоматизированного проектирования* / ИТК АН БССР. Минск, 1985. Вып. 2. с. 123–128.
28. Карташов А. В., Лученцова Н. В. Одна реализация метода последовательно-одиночного размещения для решения задачи оптимального размещения кругов различных радиусов в полосе. *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. 2007. № 2. с. 90–94.
29. Паулі Г. Синя економіка: 10 років, 100 інновацій, 100 мільйонів робочих місць, Risk Reduction Foundation. 2016.

30. Передериева В. М., Власова О. И., Шутко А. П. Аллелопатические свойства сорных растений и их растительных остатков в процессе минерализации. *Научный журнал КубГАУ*. 2011. № 73 (09). с. 1–11.
31. Передериева В. М., Ткаченко Д. А. Влияние предшественников и способов обработки почвы на биологические показатели плодородия. *Агротехнический вестник*. 2005. № 4. С. 14–15.
32. Захаренко А. В. Теоретические основы управления сорным компонентом агрофитоценоза в системах земледелия. М. : Изд-во МСХА, 2000. 468 с.
33. Баздырев Г. И. Защита сельскохозяйственных культур от сорных растений. М. : КолосС, 2004. 328 с.
34. Христева Л. А. Гуминовые удобрения: теория и практика их применения. Ч. 3. К. : Урожай, 1968. 287 с.

Глава 9

1. Пирамида-Махима / Ляшко Л. Ю. М., 2001. 96 с.
2. Турскова Т. Великие сооружения древнего мира. М. : РИПОЛ КЛАССИК, 2002. 416 с.
3. Райхард Г. Пирамиды. М. : Слово, 1978. 48 с.
4. Naas J., Winifred C., Ruiz A. Dating the Late Archaic occupation of the Norte Chico region in Peru (англ.). *Nature*. 2004. Vol. 432. P. 1020–1023.
5. Аравия. Материалы по истории открытия. М.. 1981.
6. Хейердал Т. Мальдивская загадка. М. : Прогресс, 1988.
7. Бабанин В. П. Тайны великих пирамид. СПб. : Лань, 1999. 510 с.
8. Проскуряков с. Стройтрест из... созвездия Большого Пса. *Строительная газета*. 1989. 11 октября. с. 4.
9. Как строили пирамиды? *Изобретатель и рационализатор*. 1986. № 3. с. 35.
10. Сайфутдинов А. Ф. Замки на песке. Новосибирск, 1990. URL: <http://www.trizminsk.org/e/221101.htm>.
11. Архитектура Древнего Египта. Технологии строительства египетских пирамид. URL: <https://egyptopedia.info/t/1781-tekhnologii-stroitelstva-egipetskich-piramid>
12. Тайны Великой пирамиды Хеопса. Загадки двух тысячелетий / П. Томпкинс. СПб. : Центрполиграф, 2008. 480 с.
13. Хэмблин Д. Д. Тайны египетских пирамид. *За рубежом*. 1986. № 38 (1367). с. 18–19.
14. Артюхов с. Как строили ираимиды? *Юный техник*. 1986. № 1. с. 40–45.
15. Тюньков Ю. Остались ли тайны у древних пирамид? *Советская молодежь*. 1987. 19 апреля.
16. Тюньков Ю. Пирамиды: остались ли тайны? *Молодость Сибири*. 1987. 25 июля.
17. Подолинский С. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. М. : Ноосфера, 1991.
18. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. М. : Прогресс, 1978.
19. Velikovsky I. Ramses II and his time. N.Y. 1978.
20. Системы водоснабжения в Мохенджо-Даро. URL: www.ysa34.ru/article/ancientry.php.
21. Древняя Греция. Водопровод, которому 8000 лет. URL: [//konan.3dn.ru/publ/72-1-0-164](http://konan.3dn.ru/publ/72-1-0-164).
22. Интересные водонапорные системы до нашей эры в Египте, Иерусалиме, Пергаме, Древнем Риме. URL: www.eco-green-vita.com/ru/articles/item/468.

23. Hauck G. F. W. The Roman Aqueduct of Nimes. *Scientific American*. 1989. No. 3.
24. Hodge T. A. Siphons in Roman Aqueducts. *Scientific American*. 1985. No. 6.
25. Строительные материалы в Древнем Риме. URL: www.vogean.com/katalog/155/index.php.
26. Древний Рим. Строительные приемы и конструкции. URL: Architectures.blogspot.com/2011/04/blog-post_11.html.
27. Бетон в Древнем Риме. URL: www.konglomerat-spb.ru/istoria_betona_rim.shtml
28. Волошин В. с., Бурко В. А., Харабет В. В. Отходы в строительной индустрии древнего Рима. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Сер. Технічні науки. Вип. 30. Т. 2. с. 226–232.
29. Волошин В. С., Данилова Т. Г., Аксенова О. Н. Технологические процессы отходообразования при биологической очистке. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наук. праць / ПДТУ. Маріуполь, 2008. Вип. 18. Ч. 1. с. 244–247.
30. Волошин В. С. Перспективы методологий подавления отходов в источнике их возникновения. Зб. Наукових статей «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення». Харків, 2019. с. 95–98.
31. Giorno L., Drioli E. Biocatalytic membrane reactor: applications and perspectives. *Trends Biotechnology*. 2000. № 18. P. 339–349.
32. Dmitrenko G., Konovalova V., Ereshko T. The Successive Reduction of Cr(6) and NO₃⁻ or Mn(4) Ions Present in the Cultivation Medium of Denitrifying Bacteria. *Microbiology*. 2006. № 75. P. 125–128.
33. Шевердяев О. Н. Нанотехнология. Состояние и перспективы. *Известия академии промышленной экологии*. 2006. № 1. с. 26–32.
34. Ralph M. Binding sites for use in a simple assembler. URL: <http://www.crnano.org>.
35. Бардаханов С. П., Ларичкин В. В., Корчагин А. И., Черепков В. В. Инженерные проблемы получения и применения нанопорошков для экологических приложений. *Известия академии промышленной экологии*. 2006. № 1. с. 20–25.
36. Editorial. *Materials Technology*. 2001. V. 16. № 2. P. 79–81.
37. He L., Ma E. Structure and properties of nanocomposites. *Mat. Sci. Eng.* 1995. V. 20. № 4. P. 204–245.
38. Белянчиков Л. Н. Современные наноматериалы и нанотехнологии – ключ к техническому прогрессу. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2002. № 11. с. 39–47.
39. Зайцев А. И., Садиков В. В., Соснин В. В. Нанокристаллические магнитно-мягкие сплавы – новый класс материалов. *Сталь*. 2004. № 5. с. 98–102.
40. Валиев Ф. З., Александров Н. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М. : Логос, 2000. 272 с.
41. Terrones M., Grobert N., Hsu W. K., Zhu Y. O., Hu W. B., Hare J. P. *MRS Bulletin*. 1999. V. 24. № 8. P. 43–49.
42. Акчурин М. Ш. Особенности деформирования кристаллов сосредоточенной нагрузкой : дисс. докт.ф.-м. наук. М. : ИКРАН, 2001. 232 с.
43. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure. *Acta Mater.* 2000. V. 48. № 1. P.29–34.
44. Аксенов С. И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. М. : Наука, 1980. 265 с.
45. Гудкова О. Ю., Гуднов С. В. Температурная зависимость величины воздействия электромагнитных излучений на воду. *Электроника и связь*. Вип. «Проблемы электроники. Ч. 2. 2008. с. 178–182.

46. Зацепина Г. Н. Физические свойства и структура воды. М. : МГУ, 1987. 213 с.
47. Зенин С. В. Структурированное состояние воды как основа управления поведением и безопасностью живых систем : дисс. докт. биол. наук / Государственный научный Центр «Институт медико-биологических проблем» (ГНЦ «ИМБП»). Защищена 1999. 207 с.
48. Кисловский Л. Д. Структура и роль воды в живом организме. Л. : ЛГУ, 1966. с. 179.
49. Першин С. М., Крутянский Л. М., Лукьянченко В. А. Об обнаружении неравновесных фазовых переходов в воде. *Письма в ЖТЭФ*. 2011. Т. 94 (2). с. 131–136.
50. Слесарев В. И., Шабров А. В. Влияние структуры воды на ее статические и динамические свойства. *Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине*. Тезисы II международного конгресса. СПб., 2000. с.102–103.
51. Восойков В. А. Устойчиво неравновесное состояние водных систем – основа активности живого. 5-й международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». Тезисы. СПб., 2009. с.47.
52. Новиков В. В. Резонансное поведение электропроводности водного раствора аминокислот в слабых коллинеарных постоянном и переменном магнитных полях. *Молекулярная структура воды и ее роль в механизмах биоэлектромагнитных явлений*. 2011. Пушино-на-Оке. с. 165–169.
53. Efimov Yu Ya., Neberukhin Yu. I., Thermodynamic functions of liquid water calculated from the temperature evolution of the vibration spectrum contour. *Spectrochimica Acta, Part A: Mol. & Biomolecular Spectroscopy*. 2005. 61(8). P. 1789–1794.
54. Волошин В. С., Бурко В. А. Питьевая вода. Невостребованные требования. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. статей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 11–15 вересня 2017 р.). Х. : Райдер, 2017. с. 124–131.
55. Fesenko E. E., Gluvstain A. Y. Changes in the state of water, induced by radiofrequency electromagnetic fields. *FEBS Letters*. 1995. V. 367. P. 53–55.
56. Лященко А. К., Дуняшев Л. В., Дуняшев В. С. Пространственная структура воды во всей области ближнего порядка. *Ж. Структурной химии*. 2006. № 47. С. 36–53.
57. Парадокс чистой воды. *Итоги*. № 40 (694). 2009. URL: <http://www.itogi.ru/paradox/2009/40/144705.html>.
58. Мосин О. В. Живая и мертвая вода. URL: <http://www.o8ode.ru/article/learn/entropy.htm>.
59. Шевченко О. И. Целебные свойства омагниченной воды. *Судовые энергетические установки*. 2014. № 34. с. 183–188. URL: <http://www.provodu.kiev.ua/oleg-mosin/magnitnaya-voda>.
60. Мосин О. В. Структурированная вода и способы ее получения. URL: http://www.o8ode.ru/article/water/ctrukturnirovanna_a_voda_cpocoby_polu4enia.htm.
60. URL: <http://www.psiterror.ru/p/content/content1.php?content.49.26>.
61. Калниньш К. К., Фокин Г. А. Активация питьевой воды. *ИВС РАН*. Трансгаз. 2012. 316 с.
62. Калниньш К. К., Павлова Л. П. Каталитические свойства «живой» и «мертвой» воды. 5-й международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». Тезисы. СПб., 2009. с. 56.
63. Weizsacker E. U. von, Wijkman A. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and Destruction of the Planet. *A Report to the Club of Rome*. Springer. 2018.

64. Дєєва Н. Є., Шулаєва Ю. Є. Інституційні заходи регулювання поведінки з електронними відходами. *Теоретичні та прикладні питання економіки*. 2010. Вип. 22. с. 172–178.
65. Годована І. П., Костюк Г. В. Стан та напрямки вдосконалення системи управління відходами в Україні. *Технології та дизайн*. 2014. № 1 (10). с. 1–6.
66. Волошин В. С. Отхообразование при переработке промышленных отходов. *Вестник ПГТУ. Технические науки*. Мариуполь, 2012. с.47–52.
67. Волошин В. С. Перспективы и возможности многоциклового переработки отходов. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». Маріуполь, 2018. Вип. 36. с. 224–228. (Серія : Технічні науки).
68. Романов П. С., Романова И. П. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности. *Синергия*. 2016. № 2. с. 94–99.
69. Нельсон Д., Кокс М. Основы биохимии Ленинджера : в 3-х томах / пер. с англ. 3-е изд., испр. М. : Лаборатория знаний, 2017. 694 с.
70. Волошин В. С., Азархов А. Ю. Сравнительный анализ термодинамики организма человека с позиций отхообразования в сопоставлении с искусственными технологиями. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». Маріуполь, 2019. Вип. 39. с. 175–185. (Серія : Технічні науки).
71. Вапняр В. В. Структура иерархической двухуровневой модели гомеостаза человека в определении роли неравновесной термодинамики и синергетики при инфекционном процессе. *Успехи современного естествознания*. 2007. № 7. С. 43–45.
72. Волошин В. С., Семенченко П. М. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах. Донецк : Донецчина, 1997. 72 с.
73. Старение и неравновесная термодинамика. Давняя мечта: каким же может быть способ победить старение? 2016. URL: <http://www.vechnayamolodost.ru/articles/teorii-stareniya/starenie-i-neravnovesnaya-termodynamika/>
74. Ноздрачев А. Д. Большой практикум по физиологии человека и животных : В 2 т. Т. 2 : учебное пособие. М. : Академия, 2007. 544 с.
75. Мартинчик А. Н. Физиология питания : учебник. М. : Академия, 2013. 240 с.
76. Філімонов В. І. Фізіологія людини : підручник. Вид 3. К. : Медицина, 2015. 488 с.
77. Fanger P. O., Bahhidi L., Langkilde G. Comfort limits for heated ceiling. *ASHRAE Transaction*. 1980. Vol. 80. Pt. 2.
78. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации / под ред. Ю. А. Чизмаджаева. Изд. 2-е. М. : Едиториал УРСС, 2003. 280 с.

Глава 10

1. Трегуб О. А. Податок за розміщення відходів як складова економіко-правового забезпечення поведінки з ними. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2016. № 4. с. 97–100.
2. Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755-VI (із змін., редакція від 10.09.2017 р.). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.
3. Голубенцев А. Н. Термодинамика процесса производства. К.: Техника, 1969. 182 с.

4. Волошин В. С., Семенченко П. М. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах. Донецк : Донеччина, 1997. 71 с.
5. Кузнецов П. Г. Искусственный интеллект и разум человеческой популяции. В кн. : Александров Е. А. Основы теории эвристических решений. М. : Сов. Радио, 1975. с. 212–246.
6. Волошин В. С. Термодинамика и экономическая стратегия развития современной энергетики. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наукових праць / ПДТУ. Маріуполь, 2016. Вип. 31. Т. 2. с. 8–19. (Серія : Економічні науки).
7. Волошин В. С. К вопросу о стратегии развития современной энергетики. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наукових праць / ПДТУ. Маріуполь, 2016. Вип. 33. с. 114–122. (Серія : Технічні науки).
8. Цибульский В. Ф. Энергетический индикатор состояния экономики. *Вести в электроэнергетике*. 2013. № 4. с. 37–41.
9. Велихов Е. П., Гагаринский А. Ю., Цибульский В. Ф. Энергетика в экономике XXI века. М. : ИздАт, 2010.
10. Мельник Л. Г. Синергетическая методология исследования экономических систем. *Вопросы политической экономии*. 2014. № 4 (13). с. 69–95.
11. Потребление нефти странами мира. URL: <http://iformatsiya.ru/tab1/539-potreblenie-nefti-stranami-mira.html>.
12. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws>.
13. Elkana Y. The discovery of the conservation of energy, with a foreword by I. Bernard Cohen, Hutchinson Educational. 1974.
14. Elkana Y. Helmholtz's Kraft: An Illustration of Concepts in Flux. *Historical Studies in the Physical Science*. 1970. Vol. 2. P. 263–298.
15. Prigogine I. Etude Thermodynamique des Phenomenes Irreversibles. These d'agregation presentee a la faculte des sciences de l'Universite Libre de Bruxelles (1945). Paris: Dunon, 1947.
16. Нихаус Ф., Янсити Э. Влияние производства энергии на концентрацию в атмосфере газов, обуславливающих парниковый эффект. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/31204091220_ru.pdf.
17. Загрязнение атмосферы. Глобальные проблемы человечества. URL: http://www.global-trouble.ru/ekologiya_atmosfery_gidrosfery_pedosfery/zagryaznenie_atmosfery.html.
18. Качество атмосферного воздуха и здоровье. Всемирная организация здравоохранения. URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(out-door\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(out-door)-air-quality-and-health)
19. Экологические последствия загрязнения атмосферы. URL: <http://xreferat.com/112/1338-1-ekologicheskie-posledstviya-zagryazneniya-atmosfery.html>.
20. Глобальные последствия загрязнения окружающей среды. Studbooks.net. URL: http://studbooks.net/2987/ekologiya/globalnye_posledstviya_zagryazneniya_okruzhayushey_sredy.
21. Источник: Защита атмосферы Земли – международная проблема. Промежуточный отчет Комиссии по социологическим исследованиям 11-й сессии Бундестага, Бонн (1988).

22. Центр анализа информации о двуокиси углерода, Окриджская национальная лаборатория, США. Отчеты за 1990–2012 гг. URL: <http://new.atomicenergy.ru/organizations/okridzhskaya-natsionalnaya-laboratoriya>.
23. Бюллетень МАГАТЭ, 2015. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/bull563_sept2015_ru.pdf.
24. Бюллетень МАГАТЭ, 2000. Декабрь. Вопросы энергетики и обсуждение проблемы глобального потепления. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/vol42_no4_russian_ru.pdf.
25. Алексеев П. Н., Гагаринский А. Ю. Требования к атомным станциям XXI века. URL: http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t88-1_2000/go,4/
26. Лемыш А. И. Комиссия подтвердила: генератор России работает. URL: <http://www.tochno.media/rus/publication/konets-energeticheskoy-imperii-1440068576/>
27. Гриняев С. Н., Фомин А. Н. Среднесрочные оценки устойчивости Евразийского союза при различных сценариях развития мировой экономики. Центр стратегических оценок и прогнозов. URL: <http://csef.ru/media/articles/3783/3783.pdf>.
28. BP Statistical Review of World Energy, 2015. URL: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
29. Лемыш А. И. Нефть получила тепловой удар. URL: <http://www.chitalnya.ru/work/1406582/>
30. Larin V. N., ed. C. Warren Hunt. Hydridic Earth: the New Geology of Our Primordially Hydrogen-Rich Planet. Polar Publishing, Calgary, Alberta, Canada, 1993. 273 с.
31. Ларин В. Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М. : Агар, 2005. 248 с.
32. Белов С. Н. Чистое топливо будущего. *Российские недра*. 2006. № 18 (31).

Глава 11

1. Волошин В. С. О некоторых закономерностях развития технических систем с позиций отходообразования. *Наука та виробництво* : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». Маріуполь, 2019. Вип. 21. с. 246–255.
2. Горин Ю. В. Техника и интеллект. В кн. «Концепции современного естествознания». Ч. II. Техносфера и основы современных технологий. Пенза : ПГТУ, 1997. с. 171–196.
3. Горин Ю. В., Евстигнеев В. В. Алгоритм решения задач по физике. Пенза : ПГТУ, 1995. 30 с.
4. Альтшуллер Г. С., Злотин Б. Л., Зусман А. В. Профессия – поиск нового. Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1985.
5. Альтшуллер Г. С. Найти идею. 3-е изд., доп. Петрозаводск : Скандинавия, 2003.
6. Альтшуллер Г. С., Злотин Б. Л., Зусман А. В. Поиск новых идей: от озарения к технологии (теория и практика решения изобретательских задач). Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1989. 381 с.
7. Саламатов Ю. М. Система развития законов техники. В кн. : Шанс на приключения / Сост.: Селюцкий А. Б. Петрозаводск : Карелия, 1991. с. 71–75.

8. Выхлопное устройство двигателя внутреннего сгорания: пат. Великобритании № 1340121.
9. Орлов М. А. Первичные инструменты ТРИЗ. Справочник практика. М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2010. 128 с.
10. Стефаник В. Е. Способ газификации углеродсодержащего пласта. Авт. св. №1428764.
11. Способ удаления накипи с поверхности нагрева теплообменного аппарата: пат. США № 3052102.
12. Гармаш Н. З. Способ транспортирования сыпучего материала: а. с. №1265586.
13. *Энергия*. 1985. № 7. с. 32–33.
14. Коптев В. Н. По воле волн. *Техника молодежи*. 1989. № 1. с. 45.
15. Барабанов В. И., Мельников В. М. Циклон для очистки жидкостей и газов: а. с. №889113.

Глава 12

1. Алехин А. Б. Прогнозирование и оптимизация экономико-экологических систем. К., 1993. 149 с.
2. Бусленко Н. Л. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1990. 400 с.
3. Коммонер Б. Замыкающийся круг. М. : Гидрометеиздат, 1974. 280 с.
4. Ашманов С. А. Введение в математическую экономику. М. : Наука, 1984. 284 с.
5. Телихман Э. Сравнительная статистика в моделях воспроизводства. В сб. *Математические модели экономической динамики*. Вильнюс, 1998. с. 74–81.
6. Экланд И. Элементы математической экономики. М. : Наука, 1994. 311 с.
7. Тимохов А. В. Математические модели экономического воспроизводства. М. : Изд. МГУ, 1992. 182 с.
8. Джалилова З. А. Модели воспроизводства и обмена на графе. В сб. : *Математические модели экономической динамики*. Вильнюс, 1982. с. 42–48.
9. Волошин В. С., Семенченко П. М. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах. Донецк : Донеччина, 1997. 71 с.
10. Корнфельд И. П., Синай Я. Г., Фомин С. В. Эргодическая теория. М. : Наука, 1990. 383 с.
11. Альтшуллер Г. С., Рубин М. М. Что будет после окончательной победы. Восемь мыслей о природе и технике. В кн. : *Шанс на приключение*. Петрозаводск : Карелия, 1991.
12. Андронов А. А., Понтрягин Л. С. Теория «грубых систем». *ДАН СССР*. 1937. Т. 14. с. 247.
13. Ма Ш. Современная теория критических явлений. М. : Мир, 1980. 314 с.
14. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М. : Мир, 1979. 285 с.
15. Синай Я. Г. Современные проблемы эргодической теории. М. : Наука, 1995.
16. Моисеев Н. Н. Экология глазами математика. М. : Молодая гвардия, 1988. 256 с.
17. Ахромеева Т. С., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Парадоксы мира нестационарных структур. *Математика и кибернетика*. 1985. № 5. 48 с.
18. Берже П., Пом И., Видаль К. Порядок в хаосе. М. : Мир, 1988. 273 с.
19. Динамический хаос как парадигма современных систем связи. *Успехи современной радиоэлектроники*. 1997. № 10. с. 4–26.

20. Loscutov A. Chaotic dynamics of chemical systems. *Mathematical Methods in Contemporary Chemistry*. Ed. S. I. Kuchanov. Gordon & Breach, USA, 1995. P. 181–265.
21. Jackson E. A. Perspectives of Nonlinear Dynamics. Vol. 1, 2. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990.
22. Monneville P. Dissipativ Structures and Weak Turbulence. Academic Press, London, 1990. 72 p.
23. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику. М. : Наука, 1990. 228 с.
24. Ахромеева Т. С., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Самарский А. А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М. : Наука, 1992. 72 с.

Глава 13

1. Волошин В. С. Теория графов в инженерных расчетах. К. : Освита України, 2017. 232 с.
2. Волошин В. С. Отходообразование в технологии получения древесного угля. *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наукових праць / ПДТУ. Маріуполь, 2011. Вип. 22. с. 266–271. (Серія : Технічні науки).

Глава 14

1. Хоменко Н. П., Кузьменко В. А. Полудекротно-кронекерово произведение графов : Тематический сб. *Вычислительная математика в современном научно-техническом прогрессе*. Канев, 1974. с. 373–381.

Наукове видання

В. С. ВОЛОШИН

ВІДХОДИ та їх ПРИРОДА

(видання друге, доповнене, перероблене)

Відповід. за випуск Кришталь А. І.
Верстка Кришталь А. І.
Оформлення обкладинки Долга М. В.

Підписано до друку 18.06.2024 р.
Формат 70x100/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 50,79.
Наклад 300 прим.

ФОП Самченко Анастасія Михайлівна
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК №7906 від 03.08.2023 р.
Тел. (093) 860-62-21.



Безцінні відходи – шлакова гора. «Азовсталь». Маріуполь

ISBN 978-617-8413-03-3



9 786178 413033