

Волошин В. С., Клєнін О. В.

РИЗИК – АЛЬТЕРНАТИВНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

Київ
Маріуполь
2024

УДК 004.94:519.87:330.131.7

В 686

Волошин В. С., Кленін О. В.

В 686 Ризик — альтернативні методи аналізу. — Київ — Маріуполь : ФОП Самченко А. М., 2024. — 496 с.

ISBN978-617-8413-15-6

В монографії викладено основи подієвих ризиків, як системного фактору та важливої складової безпеки сучасного соціотехнічного суспільства. Викладено причини появи, а також властивості поняття «ризик», в основі яких лежить шкала подій, що співвідноситься до шкали часу, а також ентропійна складова подієвого ризику. На підставі систематизації властивостей поняття «подія» запропоновано інтерпретацію терміну «ризик», як бінарного відображення очікуваності невизначеної події в напрямку її визначення, в залежності від властивостей цієї події. Показані можливості використання нейронних мереж різної конфігурації в якості моделі оцінювання подієвих ризиків. На численних прикладах доводиться ефективність запропонованих методик не тільки для оцінювання ризику, але й для його прогнозування в різноманітних соціотехнічних системах. Монографія розрахована на наукових працівників, фахівців у галузях безпеки, екології, інженерії, фінансів та бізнесу, може бути корисною для студентів і аспірантів, зацікавленої молоді, що проявляє інтерес до основ точних наук і інженерії та схильна до аналітики.

УДК 004.94:519.87:330.131.7

ISBN978-617-8413-15-6

© Волошин В. С., Кленін О. В., 2024

Автор: Волошин В'ячеслав Сергійович – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної академії наук з екології та безпеки життєдіяльності, почесний член Академії економічних наук України та Міжнародної кадрової академії, дійсний член Нью-Йоркської академії наук. Галузі наукових інтересів: екологія великих міст та промислових регіонів, проблеми складних еколого-економічних систем, проблеми «чорних пісків» Приазов'я; екологія води; природа походження відходів; аварійна діагностика технічних систем. Є автором та співавтором 22 монографій та навчальних посібників за напрямками науково-педагогічної та дослідницької діяльності.

Автор: Кісін Олег Володимирович – доктор економічних наук, український вчений, віцепрезидент академії економічних наук України, академік академії економічних наук України, академік національної академії наук вищої освіти, професор кафедри бухгалтерського обліку й аудиту Приазовського державного технічного університету, український громадський діяч. Оpubліковано 60 наукових праць. Автор і співавтор 6 монографій.

The monograph outlines the basics of event risks as a systemic factor and an important component of the security of a modern sociotechnical society. The reasons for the appearance, as well as the properties of the concept of which are based on a scale of events comparable to the time scale, as well as the entropy component of event risk, are described. Based on the systematization of the properties of the concept of an interpretation of the term is proposed as a binary representation of the expectation of an uncertain event in the direction of its certainty, depending on the properties of this event. The possibilities of using neural networks of various configurations as a model for assessing event risks are shown. Numerous examples prove the effectiveness of the proposed methods not only for risk assessment, but also for its prediction in a wide variety of sociotechnical systems. The monograph is intended for researchers, and specialists in the field of safety, ecology, engineering, finance, and business, it can be useful for students and graduated students, just curious young people who are interested in the basics of exact sciences and engineering and are inclined to analytics.

Author: **Voloshyn Vyacheslav Stepanovych** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Academician of the International Academy of Environmental Sciences and Life Safety, honorary member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine and the International Personnel Academy, full member of the New York Academy of Sciences. His research interests include the ecology of large cities and industrial regions; problems of complex ecological and economic systems; problems of the Azov region; ecology of water; nature of waste origin; emergency diagnostics of technical systems. He is the author and co-author of 22 monographs and textbooks in the fields of scientific, pedagogical and research activities.

Author: **Klenin Oleg Volodymyrovych** – Doctor of Economic Sciences, Ukrainian scientist, Vice-President of the AEN of Ukraine, Academician of the AEN of Ukraine, Academician of the National Academy of Sciences of Higher Education, Professor of the Accounting and Auditing Department of the Azov State Technical University, and a Ukrainian public figure. About 60 scientific papers have been published. The author and co-author of 6 monographs.

В монографии изложены основы событийных рисков, как системного фактора и важной составляющей безопасности современного социотехнического общества. Изложены причины появления, а также свойства понятия «риск», в основе которых лежит шкала событий, сопоставимая со шкалой времени, а также энтропийная составляющая событийного риска. На основании систематизации свойств понятия «событие» предложена интерпретация термина «риск» как бинарного отображения ожидаемости неопределенного события в сторону его определенности, в зависимости от свойств этого события. Показаны возможности использования нейронных сетей различной конфигурации в качестве модели оценки событийных рисков. На многочисленных примерах доказывается эффективность предлагаемых методик не только для оценки риска, но и для его прогнозирования в самых различных социотехнических системах. Монография рассчитана на научных работников, специалистов в области безопасности, экологии, инженерии, финансов и бизнеса, может быть полезна студентам и аспирантам, просто любознательной молодежи, проявляющей интерес к основам точных наук и инженерии и склонной к аналитике.

Автор: Волошин Вячеслав Степанович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, академик экологии и безопасности жизнедеятельности Международной Академии наук, почетный член академии экономических наук Украины и Международной кадровой академии, действительный член Нью-Йоркской академии наук. Область научных интересов – экология больших городов и промышленных регионов; проблемы сложных эколого-экономических систем; проблемы «черных песков» Приазовья; экология воды; природа происхождения отходов; аварийная диагностика технических систем. Автор и соавтор 22 монографий и учебников по направлениям научно-педагогической и исследовательской деятельности.

Автор: Кленин Олег Владимирович – доктор экономических наук, украинский ученый, вицепрезидент АЕН Украины, академик АЕН Украины, академик национальной академии наук высшего образования, профессор кафедры учета и аудита Приазовского государственного технического университета, украинский общественный деятель. Опубликовано около 60 научных работ. Автор и соавтор 6 монографий.

ЗМІСТ

ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ПОДІЄВОГО РИЗИК-ІНЖИНІРІНГУ	50
1.1. Особливості формування вектору безпечного розвитку людини в соціотехнічному середовищі . . .	50
1.2. Трансформація концептуальних закономірностей, що характеризують сутність терміну «ризик»	57
1.3. Адаптивні методи оцінки ризиків у системі забезпечення безпеки людського розвитку	72
1.4. Проблеми існуючих методів оцінки ризиків та нові завдання для сучасних ризикуотворюючих систем	86
РОЗДІЛ 2. РИЗИК, ЯК ЧАСОВА ПАРАДИГМА	93
РОЗДІЛ 3. РИЗИКИ З ПОЗИЦІЙ РЕГУЛЬОВАНИХ ПОДІЙ	106
3.1. Фундаментальні аспекти подієвого трактування ризиків	106
3.2. Регульована подієвість і прикладні аспекти ризику	120
РОЗДІЛ 4. РИЗИКИ ПОДІЙ З ПОЗИЦІЙ ЕНТРОПІЙНОСТІ СИСТЕМ	142
4.1. Термодинамічна ентропія як показник подієвого ризику	144
4.2. Зв'язана інформація як індикатор ентропії подієвого ризику	154
4.3. Резюме	166
РОЗДІЛ 5. ПОДІЄВІ РИЗИКИ У ЛЮДИНО-МАШИННИХ СИСТЕМАХ	174
5.1. Функціональні ризики в прикладних подієвих відносинах	174
5.2. Прикладні аспекти формування ризику в системах «людина – машина»	184
РОЗДІЛ 6. СУЧАСНА СЕМАНТИКА І ЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ «РИЗИК»	199
6.1. Синонімія та належність терміну «ризик»	199

6.2. Семантичний зміст та ознаки терміну «ризик» . . .	205
6.3. Позначення терміну «ризик» та відповідність сучасним вимогам	213
РОЗДІЛ 7. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПОДІЄВИХ РИЗИКІВ	225
7.1. Інструментарії для опису та управління подієвими ризиками	225
7.2. Перцептрон, як модель для прогнозування подієвих ризиків	234
РОЗДІЛ 8. ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПОДІЄВИМИ РИЗИКАМИ.	274
8.1. Розв'язання прикладних задач у сфері прогнозування подієвих ризиків	274
8.2. Алгоритмізація задач у сфері прогнозування подієвих ризиків	296
8.3. Рекурентні нейронні мережі зі зворотним зв'язком з використанням для моделей подієвого ризику . . .	302
8.4. Область використання глибоких рекурентних мереж RNN при оцінці подієвих ризиків	325
РОЗДІЛ 9. ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОДІЄВИХ РИЗИКІВ	346
9.1. Специфіка оцінки ризиків в проєкт-менеджменті. .	346
9.2. Ризики подій і сценарій Паддінгтонської катастрофи.	375
9.3. Дослідження ризиків, пов'язаних із роуп-джампінгом.	397
9.4. Досвід прогнозування ризиків, пов'язаних із механічним пошкодженням кісткової тканини людини, з використанням рекурентних нейронних мереж . .	413
РОЗДІЛ 10. СЕРВІС ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ДЛЯ КОРИСТУВАЧІВ МЕТОДАМИ ОЦІНКИ ПОДІЄВИХ РИЗИКІВ	426
ВИСНОВОК	455
ЛІТЕРАТУРА	480

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION

CHAPTER 1. CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF EVENT-BASED RISK ENGINEERING

- 1.1. Features of the formation of the vector of safe human development in a sociotechnical environment
- 1.2. The transformation of conceptual patterns describing the nature of the term
- 1.3. Adaptive risk assessment methods in the human development security system
- 1.4. The problems of existing risk assessment methods and new tasks for modern risk-forming systems

CHAPTER 2. RISK AS A TEMPORARY PARADIGM

CHAPTER 3. RISKS FROM THE PERSPECTIVE OF REGULATED EVENTFULNESS

- 3.1. Fundamental aspects of event-based risk interpretation
- 3.2. Regulated eventfulness and applied aspects of risk

CHAPTER 4. EVENT RISKS FROM THE PERSPECTIVE OF ENTROPY OF SYSTEMS

- 4.1. Thermodynamic entropy as an indicator of event risk
- 4.2. Related information as an indicator of the entropy of event risk
- 4.3. Summary

CHAPTER 5. EVENT-BASED RISKS IN HUMAN-MACHINE SYSTEMS

- 5.1. Functional risks in applied event relations
- 5.2. Applied aspects of risk formation in human-machine systems

CHAPTER 6. MODERN SEMANTICS AND MEANING OF THE TERM

- 6.1. Synonymy and affiliation of the term
- 6.2. The semantic content and features of the term
- 6.3. The designation of the term and compliance with modern requirements

CHAPTER 7. MATHEMATICAL METHODS OF EVENT RISK ANALYSIS

- 7.1. Tools for describing and managing event risks
- 7.2. Perceptron as a model for predicting event risks

CHAPTER 8. APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO EVENT RISK MANAGEMENT

- 8.1. Solving applied problems in the field of event risk forecasting
- 8.2. Algorithmizing of tasks in the field of event risk forecasting
- 8.3. Recurrent neural networks with feedback applied to event risk models
- 8.4. The area of the claim of deep recurrent RNN networks in assessing event risks

CHAPTER 9. THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR THE ASSESSMENT AND FORECASTING OF EVENT RISKS IS DESCRIBED

- 9.1. The specifics of risk assessment in project management
- 9.2. Event risks and scenarios of the Paddington disaster
- 9.3. Investigation of the risks associated with rope jumping
- 9.4. Experience in predicting risks associated with mechanical damage to human bone tissue using recurrent neural networks

CHAPTER 10. A DECENTRALIZED MANAGEMENT SERVICE FOR USERS OF EVENT RISK

ASSESSMENT METHODS

CONCLUSION

LITERATURE

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. ПОНЯТИЙНЫЕ ОСНОВЫ СОБЫТИЙНОГО РИСК-ИНЖИНИРИНГА

- 1.1. Особенности формирования вектора безопасного развития человека в социотехнической среде
- 1.2. Трансформация понятийных закономерностей, описывающих природу термина «риск»
- 1.3. Адаптивные методы оценки риска в системе обеспечения безопасности развития человека
- 1.4. Проблематика существующих методов оценки рисков и новые задачи для современных рискообразующих систем

ГЛАВА 2. РИСК, КАК ВРЕМЕННАЯ ПАРАДИГМА

ГЛАВА 3. РИСКИ С ПОЗИЦИЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ СОБЫТИЙНОСТИ

- 3.1. Фундаментальные аспекты событийной интерпретации рисков
- 3.2. Регулируемая событийность и прикладные аспекты риска

ГЛАВА 4. СОБЫТИЙНЫЕ РИСКИ С ПОЗИЦИЙ ЭНТРОПИЙНОСТИ СИСТЕМ

- 4.1. Термодинамическая энтропия как показатель событийного риска
- 4.2. Связанная информация как показатель энтропии событийного риска
- 4.3. Резюме

ГЛАВА 5. СОБЫТИЙНЫЕ РИСКИ В СИСТЕМАХ «ЧЕЛОВЕК – МАШИНА»

- 5.1. Функциональные риски в прикладных событийных отношениях
- 5.2. Прикладные аспекты рискообразования в системах «человек – машина»

ГЛАВА 6. СОВРЕМЕННАЯ СЕМАНТИКА И СМЫСЛ ТЕРМИНА «РИСК»

- 6.1. Синонимичность и принадлежность термина «риск»

- 6.2. Смысловое содержание и признаки термина «риск»
- 6.3. Обозначение термина «риск» и соответствие современным требованиям

ГЛАВА 7. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СОБЫТИЙНЫХ РИСКОВ

- 7.1. Инструментарии для описания и управления событийными рисками
- 7.2. Перцептрон, как модель прогнозирования событийных рисков

ГЛАВА 8. ПРИЛОЖЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ К УПРАВЛЕНИЮ СОБЫТИЙНЫМИ РИСКАМИ

- 8.1. Решение прикладных задач в области прогнозирования событийных рисков
- 8.2. Алгоритмизация задач в области прогнозирования событийных рисков
- 8.3. Рекуррентные нейронные сети с обратными связями применительно к моделям событийных рисков
- 8.4. Область притязания глубоких рекуррентных сетей RNN при оценке событийных рисках

ГЛАВА 9. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОБЫТИЙНЫХ РИСКОВ

- 9.1. Специфика оценки рисков в проект-менеджменте
- 9.2. Событийные риски и сценарии Паддингтонской катастрофы
- 9.3. Исследование рисков, связанных с роуп-джампингом
- 9.4. Опыт прогнозирования рисков, связанных с механическими повреждениями костной ткани человека, с применением рекуррентных нейронных сетей

ГЛАВА 10. СЕРВИС ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МЕТОДИКАМИ ОЦЕНКИ СОБЫТИЙНЫХ РИСКОВ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

Вступ

Слова великого Леонардо да Вінчі — «Коли ви опускаєте руку в річку, ви торкаєтесь «минулого» для тих, хто вище за течією, і ви торкаєтесь «майбутнього» для тих, хто нижче за течією» — можна використати як епіграф до цієї книги. Тому, що ризики завжди співвідносилися з часовими залежностями зовсім не так, як саме час співвідносився з ними, і навіть у тому випадку, якщо б ми були пов'язані з ризиками тільки одною з його якостей — потенційною небезпекою. Ми намагаємося показати, що це не єдині властивості ризику, які повинні братися до уваги сучасним користувачем.

До трьох фундаментальних домінант, без яких неможливе існування не тільки людини, а й будь-якої іншої біологічної істоти на планеті, відносяться:

- потреби у підтримці власного біологічного стану протягом усього життя, а саме — у забезпеченні їжею, водою, диханням, внутрішньобіологічною активністю;
- потреби в продовженні роду, в репродуктивних функціях;
- потреби у фізичній безпеці та рефлекторних захисних функціях.

Кожна з них є невід'ємною складовою, без якої неможливе життя. Згідно з пірамідою потреб американського психолога з українським корінням Абрахама Маслоу [1], ці функції, як безумовні, лежать в основі такої піраміди, тобто відносяться до фундаментальних.

Фізична, а для людини ще й соціальна безпека, є однією з найважливіших умов існування будь-якого біологічного виду. Тому такий концепт, який полягає в розумінні подолання нескінченних небезпек, завжди був пріоритетним з боку людей у всі часи існування людського суспільства, при всіх соціальних структурах, при будь-яких політичних порівняннях і державних утвореннях. Перелік небезпек, яким піддавалася людина, завжди залежав від епохи, соціального устрою, технічного та енергетичного оснащення суспільства і багато чого іншого. Наприклад, в епоху зби-

ральництва люди не були знайомі з такими небезпеками, як вплив вибухівки або ядерні загрози. Середньовіччя не могло зіткнутися з глобальними проблемами забруднення навколишнього середовища, а ХХ століття познайомило людей з невідомою раніше небезпекою космічного випромінювання, жорсткого ультрафіолетового випромінювання, як похідного озонових дір, шкідливого впливу вуглекислого газу. В свою чергу, в епоху сучасного розвитку людина частково розпрощася з такими небезпеками, як безліч бактеріальних інфекцій і хвороб, але з іншого боку, отримала не тільки екологічну небезпеку і техногенні катастрофи планетарного масштабу, а й невідомі раніше масштабні вірусні епідемії. Майбутні загрози можуть бути пов'язані зі штучними техногенними катастрофами та деформаціями інформаційного простору, як основи майбутнього цифрового життя людства. Таких небезпек і ризиків не могло існувати ні 20 тисяч, ні тисячу, ні двісті років тому, ні навіть у сучасному світі. Але і від глобальних вірусних атак, як сучасного глобального ризику, людство також має позбутися у майбутньому. Це динаміка небезпек і динаміка ризиків, що ще раз показує актуальність і своєчасність таких досліджень.

З давніх-давен потреби в безпеці для людини вимагали не тільки максимально ретельної оцінки, яку часто можна було порівняти з життям, але і зручних критеріїв цієї оцінки. Одним із таких критеріїв поступово став ризик. Саме ризик можливості настання небезпеки загрожував фізичними втратами або матеріальною шкодою. Причому в узагальненому порядку це поняття не могло бути локалізоване ні в окремі часові періоди, ні в межах племінних або державних кордонів, ні в масштабах соціальних устроїв і суспільних структур. З самого початку свого застосування вона мала вузький, специфічний характер для різних локальних об'єктів застосування, але в той же час мала якість загальнолюдської потреби, і з часом покривала цією потребою всі більш широкі сфери людської діяльності: від очікування врожаю і гральних карт або особистої фізичної безпеки, до ризиків, пов'язаних із морськими та іншими подорожами, торгівлею, політикою та економікою, нескінчен-

ними війнами і територіальними завоюваннями. Це призвело до великої кількості розбіжностей у правильному розумінні терміну «ризик», у змісті поняття та його кількісних оцінках у бік їх більш вузького, прикладного значення, які найчастіше суттєво розрізняються в цих додатках.

Слова Конфуція про те, що три речі ніколи не повертаються — час, слово, можливість — відображають односпрямованість таких речей. Це стосується і теми монографії — ризиків. Цей вислів китайського філософа дуже опосередковано, але точно описує суть ризику, ризикових подій в обов'язкових часових рамках, сутність, що призводить до негативних наслідків для самої людини, для суспільства в цілому, для цілих держав і народів.

У вищенаведеному вислові необхідно уточнити термін «можливість», синонімізуючи його з терміном «подія» як об'єктивною реальністю як для самої можливості, так і для події, під якою тут розуміється форма реалізації цієї можливості. У відомій літературі існує поділ понять «ризик» і «ризикова подія», розуміючи перше як можливість настання події, а друге — як реалізацію самої події. Лише один приклад: «... ризик події — це ризик того, що внаслідок рідкісних, непостійних і дуже сильних непередбачених змін ринкової ситуації зміниться здатність емітента здійснювати виплати відсотків і основної суми боргу» [2]. Це ще раз підкреслює як випадковість ризику, так і незворотність події, попередником якої є її можливість.

Тому автори в даній роботі прийняли в якості постулату взаємну залежність ризику і подій, які потенційно йому передують, супроводжують його в теперішньому часі і йдуть у минуле, як відбиток самого ризику в історичному ланцюжку подій.

У монографії зроблена спроба представити деякий альтернативний варіант погляду на саме розуміння терміну «ризик», таким чином, щоб дотримати вектор на його більшу універсальність і масштабність у рамках його застосування. Зокрема, з метою розширення його застосування в напрямку прогнозування та запобігання ризикам. Це, в свою чергу, може дати новий поштовх для розвитку інших способів оцінки цього важливого для людини поняття.

Ризик — це не тільки незворотність, але і невизначеність, на чому наголошують багато дослідників цього явища, в тому числі прихильники імовірно-статистичних методів аналізу ризику. Тому при деяких обставинах, виходячи з такої невизначеності, ризик може бути реалізований у вигляді конкретної події, що виходить за межі можливостей людини запобігти його виникненню. А це призводить до пошкодження або втрати життя і здоров'я. Це факт миттєвого переходу ризику від невизначеності до чітко визначеної ризикової події. Але в умовах все тієї ж невизначеності події її ризик може перетворитися на щось абсолютно неактуальне для людини, наприклад, у наступних випадках:

- якщо людина виходить із ризикованої події без шкоди;
- якщо людина компенсує настання ризикової події якимись нейтралізуючими діями і подія не настає (профілактика ризику);
- якщо невідповідність ризику події до конкретного суб'єкта робить цей суб'єкт несприйнятливим до цього ризику.

Ризик завжди пов'язаний із досягненням мети. Ця мета опосередковано пов'язана з подієвістю як властивістю ризику. Конфуцій стверджував обов'язкову незмінність мети: якщо мета не досягнута, то міняти потрібно не мету, а план дій. У цьому твердженні важлива складова подієвості, а саме: цілепокладання в діяльності людини повинно визначатися такою послідовністю подій, яка однозначно сприяє досягненню цієї мети, наприклад, мінімізації ризику за умови, що витратна частина цієї діяльності і збиток від реалізації ризику є порівнянними.

Ризик — це міждисциплінарне поняття, але воно вже має значення загальнонаукової галузі знань. При цьому, навіть загальноприйнятого визначення ризику поки не існує. У 1921 р. американський вчений Ф. Найт, визначивши місце ризику і невизначеності, ввів для них відмінні поняття. Залишивши за першим терміном право вимірюваності, він охарактеризував ризик як «вимірювану невизначеність», на відміну від самого поняття «невизначеність», що знаходиться за межами області вимірювання [3].

Найбільш типове уявлення терміну «ризик» з існуючих звучить приблизно так. «Феномен ризику не є виключним побічним продуктом або випадком розвитку сучасного суспільства, а є новою складовою суспільного розвитку. Виробництво товарів у соціальному просторі спричиняє виробництво нових ризиків у всіх сферах життєдіяльності людини. Імовірнісна структура середовища, в яку людина постійно «занурена», статистичний характер і багатоваріантність, які властиві більшості явищ навколишньої дійсності, визначають таке явище, як ризик» [4]. Іншими словами, ризик у даному прикладному звучанні визначається як апіорі полісемантичне поняття, засноване на імовірнісно-статистичних закономірностях. Однак навіть найпростіші позначення і тлумачення дають підставу вважати ризик набагато більш складним поняттям у порівнянні з тим смисловим навантаженням, яке дають такі формулювання. Але складність поняття не завжди означає, що воно логічне. Тому численні узагальнення для терміну «ризик», як правило, засновані на найбільш загальних дослідженнях, не завжди мають ґрунтовну логіку. Це робить такі поняття ще більш заплутаними або, навпаки, неінформативними, незважаючи на кількість достовірної інформації, що міститься в них.

Ризики в житті людини — це більш складна і багатовизначена парадигма, знання про яку вкрай необхідні людству в різних сферах його діяльності. Знання, що здатні захистити індивіда від руйнувань, від хвороб і травм, зберегти його економічний благоустрій і фізичне благополуччя в сучасному світі різноманіття всього проти всього.

Наведемо лише один приклад специфічного характеру, що відображає фундаментальну властивість терміну «ризик» і спрощено позначене в [4]. Це еквівалентність умов *корисності* «машини» і її *небезпеки* або шкідливості для людини, як один із постулатів, згідно з якими завжди функціонувала така система. Ці рівнозначні співвідношення супроводжували всю людську діяльність як дві сторони однієї медалі, це небезпека, ризики, як розплата за ті блага, що несе в собі суспільний прогрес, а пізніше і науково-технічна революція. Небезпеки і ризики, пов'язані

з експлуатацією засобів виробництва, умовних «машин» і пов'язаних із ними об'єктів прикладання людської праці, відносяться до таких понять і поступово розуміються як об'єктивна данність у будь-якому без винятку виді людської діяльності.

Який шанс появлення небезпек для людини, від тих штучних систем, які створені її розумом, але залежать від величезної кількості зовнішніх факторів? Це питання, пов'язане з розумінням ризику.

Чи існує квантування часу? Це питання також опосередковано пов'язане з розумінням значення ризику для людини.

Як співвідносяться між собою минуле, сьогодення і майбутнє? Це також питання для розуміння суті ризиків.

Як співвідносяться з розумінням ризиків інформаційна та енергетична складові нашого існування? Це теж питання, яке найчастіше має пряме відношення до теорії ризиків. Теорії, якої ще не існує в універсальному сенсі...

Згідно з уявленнями сучасної абстрактної науки, дві події теоретично будуть пов'язані одна з одною тільки в тому випадку, якщо фотон світла пройде відстань, рівну або більшу за відстань між об'єктами цих подій у проміжку часу між цими подіями. В іншому випадку ці події не можуть бути причинно пов'язані через великі відстані і (або) малі часові інтервали. Ми покажемо, що цей тезис, який належить академіку М. А. Козирєву, має відношення і до теми даної роботи, до подієвих ризиків.

Особлива сторона проблеми ризикуотворення полягає в сучасній глобалізації багатьох аспектів людської діяльності, у відступі індивідуального ризику на задній план у бік узагальненого соціально наповненого терміну. Однією з причин цього є заміна необхідності ліквідації колишніх небезпек новими, більш масштабними «асиметричними» потребами, які відразу ж стикаються з численними міжкультурними, міжетнічними, наднаціональними та цивілізаційними ризиками зовсім іншого масштабу. Вони пов'язані з глобальними проблемами, зокрема, колосальними інформаційними та матеріальними потоками, транснаціональним тероризмом, фінансово-економічним гегемонізмом, природними та техногенними катастрофами та багатьма іншими.

Якщо звернути увагу на майбутнє, то прикладна і вузька специфічна термінологія поняття «ризик» сама по собі стає загрозою для суспільства. Тому що такі ризики проходять вектор розвитку в бік глобальних показників: інформаційна безпека, кібербезпека, техногенна та екологічна безпека, які не можна порівняти з вузькою спрямованістю та прикладним значенням цього терміну в нинішньому або прошлому звучанні. У той же час вузькоспеціалізовані терміни стають каменем спотикання для взаємного розуміння того, що є предметом цієї безпеки або об'єктом впливу з метою запобігання небезпеці глобального характеру. Чи можна порівняти драматизм ризику травми кінцівки для людини, або банкрутства окремого приватного підприємства, або навіть аварії одного морського судна з ризиком запуску штучних вірусних атак на цілі континенти, глобальними інформаційними хакерськими атаками на міжнародні банківські мережі або ризиками ядерних катастроф. Як предмет обговорення, так і шляхи управління такими ризиками в цих випадках явно не співмірні. Але запит на зміну поняття «безпека», щоб він відповідав поточній ситуації, вже був.

Зокрема, сучасні методи ведення бізнесу, так звані популярні сьогодні — «віддалена робота» та «хмарні технології» — є очевидними провалами безпеки для будь-якого сучасного об'єкта. Ще десять років тому людина просто не стикалася з такими проблемами у сфері безпеки. Під загрозою опиняється сам факт спілкування між людьми. Ризик втрат, збитків від впровадження сторонніми організаціями в хмарно-віддалені та інші безконтактні технології стає незмірно більшим, ніж, наприклад, зухвалі грабежі банків минулих століть. Він пов'язаний не тільки зі значним збільшенням можливостей для шантажу і рекету, але й з простим виведенням фінансових ресурсів зі «сховищ», які не тільки не підпорядковані потерпілому суб'єкту, але і невідомі в принципі.

У повсякденному житті стали буденними слова «невідомість», «недосяжність», «некерованість», «межі можливого для конкретного суб'єкта». Ризики стають принципово неконтрольованими, і механізмів впливу на них немає. З'являється уразливість іншого змісту, коли суб'єкт втрачає здатність брати участь у забезпеченні

безпеки власних активів — матеріальних, фінансових, інформаційних, енергетичних. Починає відбуватися підміна базових понять сучасного світу: втрата принципу власності. Людина перестає бути повноправним власником своїх активів, обов'язкова цифрова база яких знаходиться в інформаційних «хмарах» навіть таких захищених компаній, як Amazon, Apple, GOOGLE. Поняття «ризик» втрачає свій сенс для таких сценаріїв, коли хтось показує, що невеликий і, як здавалося, безглуздий збій у передачі інформації призводить до втрати цієї інформації, а потім і пов'язаних із нею активів, на користь конкурентів або зловмисників. Як правило, подією для такого ризику виступає якась хакерська комп'ютерна програма, певний комп'ютерний розрахунок, механізм роботи якого невідомий нікому, крім зловмисника. Це абсолютно новий рівень подієвості, його можна назвати «цифровою подієвістю», але це не заважає йому бути ризикоутворюючим, причому майже безальтернативно невлотимим.

Раніше суспільство не стикалося з такими ризиками. І сьогодні існує дуже мало способів (апріорі дорогих) запобігти таким ризикам. Більш того, як показує практика, термінологічно сучасні ризики цифрових технологій досить віддалені і взаємовиключні від того, що розуміється під ризиками в технічних, соціальних, екологічних системах сьогодення або минулого століття.

Відомий вислів Н. Вінера: «не знаючи суті об'єкта, неможливо ним керувати», як ніякий інший може проілюструвати стан речей з концептуальним потенціалом сучасного терміну «ризик». Численні дослідження, коріння яких губяться в століттях, ніяк не сприяли конкретизації цього поняття. Його тлумачення змінювалися протягом багатьох сотень років на користь сучасних потреб у прикладному значенні, але аж ніяк не в фундаментальному, єдино правильному, який не залежить від кон'юктурних міркувань тих, хто використовує ці поняття. Теоретичні дослідження такого роду повинні бути пов'язані з термінологічною базою більшою мірою аксіоматично, ніж багато імен і термінів з інших теорій і методологій. Як правило, струнка теорія, заснована на ретельно підібраній аксіоматичній основі, створюється не відразу, а тому можна пробачити, що сучасна наука в області

ризикології має набагато більші успіхи в прикладних аспектах, ніж у методологічному або теоретичному сенсі. Тим не менш, теоретичні та прикладні розробки в цій області незалежно один від одного підштовхують дослідників до створення власної переконливої теорії ризику.

Перший розділ даної роботи присвячений сучасним трактуванням поняття ризику, в тому числі розумінню ризик-інжинірингу, його впливу на формування вектору безпеки людини в її природному соціальному середовищі. Показано розвиток концептуальних чинників, що описують ризик у ретроспективі та залежно від особливостей людської діяльності в різні періоди історії та в контексті розвитку соціотехнічного середовища людини. Досліджено термінологію поняття «ризик» та порівняльні поняття, що передували виникненню цього терміну. Відведено місце в стані теоретичних досліджень у галузі ризикології та проаналізовано методи оцінки ризиків у різних сферах людської діяльності. Вказуються якісні показники ризику, які можуть більш точно відобразити властивості даного явища, а саме час, події, ентропію. При підготовці матеріалів до першого розділу брав активну участь докт. техн. наук, доц. А. О. Лямзін.

У другому розділі досліджуються питання порівняння імовірнісних характеристик ризику в часовому інтервалі. Показано, що тільки з урахуванням часу реалізації ризику останній стає більш керованим і аналітично описаним, що саме по собі важливо для керованості будь-якого об'єкта. Логічним висновком з таких досліджень є визначення ролі невизначеності в розумінні процесів формування ризику, як дуже нестабільного параметра системи. Таке тлумачення має на увазі ще й взаємозалежність ризику від енергетичних складових досліджуваної системи, а також взаємний зв'язок із розумінням ролі події в ґносеології поняття «ризик».

Третій розділ присвячений вивченню місця і ролі стріли часу і шкали подій, пов'язаних із часовими інтервалами: минулим, сьогоденням і майбутнім, в їх взаємному порівнянні і порівнянні з ризиком події. Досліджено смислове призначення шкали подій у порівняльному аспекті синхронних інтервалів шкали часу та шкали подій. Вперше звертається увага на цілком конкретний

проміжок часу, що передує виникненню однієї з подій, яка стає реальністю при переході від майбутнього до сьогодення. Досліджено властивості цього нескінченно малого інтервалу часу та показано його роль у формуванні механізмів реалізації ризикоутворюючих подій від стану їх біфуркаційної невизначеності до чітко визначеного стану. Показано, що взаємозв'язок потенційних ризикоутворюючих подій з їх причинно-наслідковими зв'язками дає змогу реалістично оцінювати спектр пріоритетів при аналізі можливих і реальних ризиків, які матеріалізуються з майбутнього як такі, що виникають. Застосування теорії катастроф до вивчення ризиків у часовому і подієвому інтервалах дозволило вивчити області стійкості динамічної системи $R(s, \tau)$ в її порівнянних умовах. Метод графопобудов використовується для відображення ієрархічної структури систем $R(s, \tau)$ з метою реалізації методів прогнозування ризикоутворюючих подій.

У четвертому розділі розглядаються питання енергетичних відносин у системі, для якої реалізується ризикоутворююча подія. Показано, що будь-який ризик має інтегральну складову у вигляді подієвої енергетичної трансформації, в якій очевидними є поведінкова сингулярність і суперпозиційність у змінах енергії, завдяки якій генеруються та реалізуються ризикоутворюючі події.

В роботі вдалося об'єктивно зв'язати разом час, подію та міру розсіювання енергії в процесі реалізації певних сценаріїв подій при переході від передбачуваного до реального, тобто з факторизацією конкретних ризикоутворюючих подій. При цьому шкала зміни ентропії системи стає рівноправною до вже вивчених шкал, а ризик отримує уточнене значення у вигляді залежності $R(s, \tau, \Delta S)$, що максимально відображає багато властивостей поняття «ризик» для абсолютної більшості ризикоутворюючих систем.

П'ятий розділ присвячений питанням взаємодії в людино-машинних системах різного походження, тобто в тій частині, яка стосується, перш за все, виробничої діяльності людини. На ряді прикладів можна простежити, як змінюється стан ризикоутворюючої системи, в якій бере участь людина в умовах передбачуваної невизначеності і, послідовно, в нескінченно малому інтервалі, що передує сучасному часу. І як при цьому змінюється ентропія

системи, яка здатна до переходів в інші координати, в повній відповідності з сучасним тлумаченням другого закону термодинаміки для нерівноважних систем. При цьому біфуркаційні зміни враховуються як інструмент переходу від невизначеності до чітко визначеної події в часі.

Шоста глава сформована як відображення семантичних переваг до терміну «ризик», в світлі сучасних уявлень, і з урахуванням матеріалу, представленого в попередніх главах. В основу дослідження покладено логічні обґрунтування для синонімічної та функціональної послідовності змісту термінів, що передували виникненню терміну «ризик» або супроводжували його. На основі дослідження функціональної схеми формування ризику в людино-машинних системах сформульовано лінгвістично точне визначення поняття «ризик», як бінарного альтернативного очікування конкретної події на межі між невизначеністю та її чітко визначеним станом, яке ґрунтується на її часових та ентропійних змінах. Таке формулювання, на думку авторів, максимально відображає весь спектр властивостей, що відносяться до поняття «ризик» в його сучасному змісті. Пропонується ряд більш спрощених формулювань, в тому числі тих, які застосовні в гуманітарній та економічній областях знань. Але в той же час всі формулювання мають властивість ідентичності і повністю відображають значення досліджуваного терміна.

У сьомому розділі представлені альтернативи математичному апарату теорії імовірісно-статистичного методу оцінки ризику у вигляді моделей нейронних мереж, що дозволяють поєднувати подієву сутність ризику з системами штучного інтелекту. Показані можливості таких моделей, способи їх створення та застосування.

У восьмому розділі показано, як використання апарату нейронних мереж дозволяє вирішувати завдання управління, попередження та прогнозування ризиків у сучасних системах різного рівня, поза імовірісно-статистичними методами аналізу.

У ряді прикладів представлені різні механізми управління ризиками в таких системах, як технічні, екологічні, управлінські та інші. Їх порівняльний аналіз дає можливість оцінити і розробити ті, які можуть бути вигідними для різних сфер застосування.

У дев'ятому розділі на прикладах представлено різні механізми управління ризиками в таких системах, як технічні, екологічні, управлінські та інші. Їх порівняльний аналіз дає можливість оцінити і розробити ті з них, які можуть бути вигідними для різних сфер застосування. Приділено увагу перспективним глибоким рекурентним *RNN* мережам для створення моделей нейронних мереж із великою кількістю випадкових і невизначених вхідних сигналів, що є надзвичайно важливим для оцінки та прогнозування ризиків відносно великої групи соціально-технічних систем різного призначення.

У десятому розділі зроблено спробу наблизити запропоновані методичні рішення до реального користувача за рахунок децентралізації інформації про потенційні і реальні ризики подій, які можуть виникнути при вирішенні таких завдань. Для цього використовуються технології розподіленого реєстру *blockchain*, які в останні роки займають все нові і нові ніші в практичному житті, надаючи об'єкту формування ризику аспект високої об'єктивності і незалежності від багатьох бюрократичних обмежень, які завжди зустрічаються в чисто централізованих системах для найрізноманітніших сфер людської діяльності.

Кінцевою метою будь-якого нового дослідження є конкретизація та уточнення існуючих у науці понять або створення принципово нових розумінь у галузях природознавства. Автори розраховують на те, що запропоновані результати допоможуть новим дослідникам більш точно та об'єктивно, ніж раніше, підходити до розгляду питань про універсальність поняття «ризик», яке могло б забезпечити його використання в різноманітних галузях людської діяльності. В цілому робота спрямована на вивчення не тільки кількісних, але й якісних показників у теорії ризиків, вона орієнтується на істотно нові критерії та принципово іншу об'єктно-суб'єктну базу щодо поняття ризиків, і це має викликати певну полеміку. Тому, навіть у першому наближенні, робота не може претендувати на узагальнюючу роль у теорії ризиків. Тим не менш, наблизити ці уявлення до єдиної форми та змісту вона зможе. Що ми й намагалися довести.

Introduction

The quote of the great Leonardo da Vinci — «When you put your hand in the river, you touch the «past» for those who are upstream, and touch the «future» for those who are downstream», could be put as an epigraph for this book. Because risks have always been correlated with time dependence, regardless of how time was compared with them, and even if we were associated with risks only by one of its qualities — potential danger. We will try to show that these are not the only risk properties that a modern user should consider.

The three fundamental dominants, without which the existence of not only man but also any other biological being on the planet, is impossible, include:

- the need to maintain one's biological state throughout life, namely, to provide food, water, respiration, and intra-biological activity;
- needs for procreation and reproductive functions;
- the need to ensure physical safety and reflex protective functions.

Each of them is an inseparable component, without which life is impossible. According to the pyramid of needs of the American psychologist with Ukrainian roots Abraham Maslow [1], these functions, as unconditional, are at the very base of such a pyramid, that is, they belong to the fundamental ones.

Physical and, for humans, social security is one of the most important conditions for the existence of any biological species. Therefore, such a concept, which consists of understanding the overcoming of endless dangers, has always been a priority for people at all times of the existence of human society, with all social structures, all political comparisons, and state arrangements. Lists of dangers to which a person was exposed have always depended on the epoch, the social system, the technical and energy equipment of society, and much more. For example, in the era of gathering, people were not familiar with such dangers as exposure to explosives or nuclear threats. The Middle Ages could not face the global problems of environmental

pollution, and the twentieth century introduced man to the previously unknown dangers of cosmic radiation, harsh ultraviolet radiation as a derivative of ozone holes, and the harmful effects of carbon dioxide. In the era of modern development, man said goodbye to such dangers as many bacterial infections and diseases, but received not only environmental hazards and man-made disasters of a planetary scale but also previously unknown large-scale viral epidemics. Future threats may be associated with artificial anthropogenic disasters and distortions of the information space as the basis for the future digital life of mankind. There could not have been such dangers and risks either twenty thousand, one thousand, or two hundred years ago, or even in the modern world. But humanity must also get rid of global virus attacks, as a modern global risk, in the future. This is the dynamics of hazards and the dynamics of risks, which shows once again the relevance and timeliness of such studies.

Since ancient times, human security needs have required not only thorough assessment, which was often comparable to life, but also convenient criteria for this assessment. Risk gradually became one of these criteria. This was the risk of the possibility of danger, which threatened physical loss or material damage. Moreover, in a generalized manner, this concept could not be localized either in separate time periods, or within tribal or state borders, or on the scale of social arrangements and social structures. From the very beginning of its application, it had a narrow specific character for various local objects of application, but at the same time had the quality of a universal need, and over time covered with this need even wider spheres of human activity: from the expectation of harvest and card games or personal physical security to the risks associated with sea and other voyages, trade, politics, and economics, endless wars and territorial conquests. This led to a large number of discrepancies in the proper understanding of the term «risk», in the content of the concept and its quantitative assessments towards their narrow-applied meaning, which most often differs significantly in these applications.

Confucius' words that three things never come back — time, word, and opportunity, reflect only one direction of such things. In particular, this applies to the topic of the monograph — risks. This

saying of the Chinese philosopher very indirectly, but accurately describes the essence of risk, risky events in a mandatory time frame, which leads to negative consequences for the person himself, for society as a whole, for entire states and peoples.

In the above-mentioned saying, it is worth clarifying the term «opportunity», synonymizing it with the term «event», as an objective reality both for the opportunity itself and for the event, which is understood here as the fact of the realization of this opportunity. In the well-known literature, there is a separation of the concepts of «risk» and «risky event», meaning by the first exactly the possibility of an event, and by the second — the realization of the event itself. Just one example: «event risk is the risk that due to rare, unstable and very strong unforeseen changes in the market situation, the issuer's ability to make interest and principal payments will change» [2]. This emphasizes once again both the eventfulness of the risk and the irreversibility of the event, the precursor of which is its possibility.

Therefore, in this work, the authors have accepted as a postulate the mutual dependence of risk and events that potentially precede it, accompany it in the present, and go into the past, as an imprint of the risk itself in the historical chain of events.

The monograph attempts to present some alternative way of looking at the very understanding of the term «risk», in such a way as to observe the vector of its greater versatility and scale within its application. In particular, to expand its application towards risk forecasting and prevention. Which in turn can give new impulses to the development of other ways of evaluating this important concept for a person.

Risk is not only irreversibility but also uncertainty, which is emphasized by many researchers of this phenomenon, including proponents of probabilistic and statistical methods of risk analysis. Therefore, under some circumstances, starting from such uncertainty, the risk can be realized in the form of a specific event, beyond the possibility for a person to prevent its occurrence. This leads to damage or loss of life and health. This is the fact of the instantaneous transition of risk from uncertainty to a well-defined risk event. But under the conditions of the same uncertainty of the event, its risk can

turn into something completely irrelevant to a person, for example, in the following cases:

- if a person withdraws from a risky event without damage;
- if a person compensates for the occurrence of a risky event with some neutralizing actions and the event does not occur (risk prevention);
- if the fact that the risk of an event is unrelated to a particular subject makes it immune to this risk.

Risk is always associated with achieving a goal. This goal is indirectly related to eventfulness as a property of risk. Confucius asserted the obligatory immutability of the goal: if the goal is not achieved, it is necessary to change not the goal, but the plan of action. In this statement, the component of eventfulness is important, namely: the goal position in human activity should be determined by such a sequence of events that unambiguously contributes to achieving this goal, for example, minimizing risk, provided that the cost part of this activity and the damage from the realization of risk are comparable.

Risk is an interdisciplinary concept, but it already has the meaning of a general scientific field of knowledge. At the same time, there is no generally accepted definition of risk yet. Most often, in various fields of knowledge, the concept of risk is replaced by the concepts of uncertainty, randomness, danger, damage, etc. In 1921, the American scientist F. Knight, defining the place of risk and uncertainty, introduced distinctive concepts for them, leaving the right of measurability for the first term, he characterized risk as «measurable uncertainty», in contrast to the actual concept of «uncertainty», which is outside the field of measurement [3].

The most typical idea of the term «risk» that exists sounds something like this. «The phenomenon of risk is not becoming an exceptional by-product or case of the development of modern society but represents a new component of social development. The production of goods in the social space turns into the production of new risks in all spheres of human life. The probabilistic structure of the environment in which a person is constantly «immersed», the statistical nature, and the multivariance inherent in most phenomena of the surrounding reality determine such a phenomenon as risk» [4]. In other words,

risk in this applied sound is defined as a priori a multi-valued concept based on probabilistic and statistical patterns. However, even the simplest designations and interpretations give reason to consider risk a much more complex concept compared to the semantic load that such formulations give. However, the complexity of a concept does not always mean that it is logical. Therefore, numerous generalizations for the term «risk», usually based on the most general research, do not always have a thorough logic. This makes such concepts even more confusing or, conversely, uninformative, despite the amount of reliable information embedded in them.

Risks in human life are a more complex and ambiguous paradigm, knowledge of which is extremely necessary for humanity in various fields of its activity. The knowledge that can protect an individual from destruction, from diseases, and injuries, and preserve his economic well-being and physical well-being in the modern world of diversity of everything against everything.

Here is only one example of an applied nature, reflecting the fundamental property of the term «risk» and simplified in clause [4]. This is the equivalence of the conditions of the *usefulness* of the «machine» and its *danger* or harmfulness to humans, as one of the postulates according to which such a system has always functioned. These equally comparable ratios accompanied all human activity as two sides of the same coin, these are dangers, risks, damages, as payback for the benefits that social progress carried, and later, the scientific and technological revolution carried. The dangers and risks associated with the operation of means of production, conventional «machines» and related objects of human labor application relate to such concepts and are gradually understood as an objective given in any type of human activity without exception.

What is the chance of danger for a person from those artificial systems that are created by their mind, but depend on a huge number of external factors? This question is related to understanding the risk.

Is Time quantized? This question also indirectly relates to understanding the meaning of risk for a person.

How does the past, present, and future relate to each other? This is also a question of understanding the essence of risks.

How do the information and energy components of our existence relate to the understanding of risks? This is also a question that is most often directly related to risk theory. A theory that does not yet exist in a universal sense...

According to the ideas of modern abstract science, two events will theoretically be connected only if a photon of light passes a distance equal to or greater than the distance between the objects of these events during the time interval between these events. Otherwise, these events cannot be causally related due to long distances and (or) short time intervals. We will show that this thesis belongs to academician N.A. Kozyrev is also relevant to the subject of this work, event risks.

A special side of the problem of risk formation lies in the modern globalization of many aspects of human activity, the relegation of individual risk to the background in the direction of a generalized socially filled term. One of the reasons for this is the substitution of the need to eliminate previous dangers with new, larger-scale «asymmetric» needs, which immediately face numerous intercultural, interethnic, supranational, and civilizational risks of a completely different scale. They are associated with global problems, in particular, colossal in volume, information and material flows, trans-state terrorism, financial and economic hegemony, natural and man-made disasters, and many others.

If we pay attention to the future, then the applied and narrow specific terminology of the concept of «risk» itself is gradually becoming a threat to society. Such risks undergo a vector of development towards global indicators: information security, cybersecurity, anthropogenic, and environmental safety, which are not comparable with the narrow focus and applied meaning of this term in the existing sound. At the same time, highly specialized terms become a stumbling block for mutual understanding of what is the subject of this security or the object of influence to prevent a danger of a global nature. Is it possible to compare the dramatic risk of injury to a limb for a person, the bankruptcy of a separate private enterprise, or even the wreck of a single ship with the risk of launching artificial virus attacks on entire continents, global information hacking attacks on international banking networks, or the risks of nuclear disasters? Both the subject

of discussion and the ways to manage such risks in these cases are not commensurate. However, the request to change the concept of «security» to match the current situation has already occurred.

In particular, modern methods of conducting business relations, the so-called «remote» and «cloud technologies» that are popular today, are clear security failures for any modern facility. Ten years ago, people simply did not face such security problems. The very fact of communication between people is at risk. The risk of losses and damage from the implementation of third-party entities in cloud-remote and other contactless technologies is becoming immeasurably greater than, for example, the daring bank robberies of past centuries. It is associated not only with significantly increased opportunities for blackmail, and racketeering but also with the simple withdrawal of funds from «vaults» that the injured entity not only does not obey but is also unknown in principle.

Words have become common in everyday life — obscurity, unattainability, uncontrollability, the limits of what is possible for a particular subject. Such risks become uncontrollable and there are no mechanisms to influence them. A vulnerability of a different content appears when the subject loses the ability to participate in the security of its assets — material, financial, information, and energy. There is a substitution of the basic concepts of the modern world: the loss of the principle of ownership. A person ceases to be the full owner of his assets, the mandatory digital base of which is located in the information «clouds» even of such protected companies as Amazon, Apple, GOOGLE. The meaning of the concept of «risk» is lost for such scenarios, when someone shows that a small and seemingly meaningless failure in the transmission of information leads to the loss of this information, followed by assets, in favor of competitors or intruders. As a rule, an event for such a risk becomes some kind of computer program, a certain computer calculation, the mechanism of which is unknown to anyone except the attacker. This is a completely new level of eventfulness, it can be given the name «digital eventfulness», but from this, it does not cease to be risk-forming, and almost without being alternatively elusive.

The company has not faced such risks before. And today there are an extremely small number of ways (a priori expensive) to prevent such risks. Moreover, as practice shows, terminologically modern risks of digital technologies are quite far and mutually exclusive with what is meant by risks in technical, social, and environmental systems of the present or the last century.

The famous saying of N. Winer: «without knowing the essence of an object, it is impossible to control it», like no other, can illustrate the state of affairs with the conceptual potential of the modern term «risk». Numerous studies, the roots of which have been lost for centuries, have not contributed in any way to the concretization of this concept. His interpretations have changed over the course of many hundreds of years to suit his contemporary needs in applied meaning, but not in anyway in the fundamental, the only correct one, independent of the opportunistic considerations of those who use these concepts. Theoretical studies of this kind should relate to the terminological base more axiomatically than many names and terms from other theories and methodologies. As a rule, a coherent theory based on a carefully selected axiomatic basis is not created immediately, and therefore, it is forgivable that modern science in the field of risk management has significantly greater success in applied aspects than in a methodological or theoretical sense. Nevertheless, theoretical and applied developments in this field independently push researchers to create their convincing risk theory.

The first chapter of this work is devoted to modern interpretations of the concept of risk, including the understanding of risk engineering, and its impact on the formation of a vector of human security in its natural social environment. The development of conceptual factors describing risk in retrospect and depending on the characteristics of human activity in different periods of history and the context of the development of the human sociotechnical environment is shown. The terminology of the concept of «risk» and comparable concepts preceding the appearance of this term are investigated. A place is given to the state of theoretical research in the field of riskology and the methods of risk assessment in various fields of human activity are analyzed. Qualitative risk indicators are indicated that can more

accurately reflect the properties of this phenomenon, namely, time, events, and entropy. An active part in the preparation of materials for the first chapter was taken by the Doctor of Technical Sciences, Associate Professor A.A. Lyamzin.

The second chapter examines the issues of comparing the probabilistic characteristics of risk in a time interval. It is shown that only taking into account the time of risk realization, the latter becomes more manageable and analytically described, which in itself is important for the manageability of any object. A logical conclusion from such studies is to determine the role of uncertainty in understanding the processes of risk formation as a very unstable parameter of the system. This interpretation implies the interdependence of risk on the energy components of the system under study, as well as a mutual relationship with the understanding of the role of the event in the epistemology of the concept of «risk».

The third chapter is devoted to the study of the place and role of the arrow of time and the scale of events related to time intervals: past, present, and future, in their mutual comparison and comparison with event risk. The semantic purpose of the event scale is investigated in the comparative aspect of the synchronous intervals of the arrow of time and the event scale. For the first time, attention is drawn to a very specific period preceding the completion of one of the events, which becomes a reality during the transition from the future to the present. The properties of this infinitesimal time interval are investigated and its role in the formation of mechanisms for the implementation of risk-forming events from the state of their bifurcation uncertainty to a well-defined state is shown. It is shown that the mutual relationship of potential risk-forming events with their cause-and-effect relationships makes it possible to realistically assess the range of priorities when analyzing possible and real risks that materialize in the future as accomplished. The application of disaster theory to study risks in the time and event interval allowed us to study the areas of stability of a dynamic system $R(s, \tau)$ in its comparable conditions. The method of graph constructions is applied to display the hierarchical structure of the system $R(s, \tau)$ in order to implement methods for predicting risk-forming events.

In the fourth chapter, the issues of energy relationships in the system for which a risk-forming event is realized are considered. It is shown that any risk has an integral component in the form of an event-based energy transformation, in which behavioral singularity and superpositionality in energy changes are obvious, due to which risk-forming events arise and are realized. In the work, it was possible to objectively link together time, events, and the measure of energy dissipation in the process of implementing certain event scenarios during the transition from the assumed to the real, that is, when factoring specific risk-forming events. At the same time, the scale of change in the entropy of the system becomes equal for the already studied scales and the risk receives a refined value in the form of dependence $R(s, \tau, \Delta S)$, which maximally reflects many properties of the concept of «risk» for the absolute majority of risk-forming systems.

The fifth chapter is devoted to the issues of interaction in human-machine systems of various origins, that is, in the part that primarily concerns human production activities. Using a number of examples, it is possible to trace how the state of the risk-forming system changes, in which a person participates in conditions of assumed uncertainty and, consistently, in an infinitesimal interval preceding the present time. And how the entropy of a system capable of transitions to other coordinates changes in full accordance with the modern interpretation of the second law of thermodynamics for non-equilibrium systems. At the same time, bifurcation changes are taken into account as a tool for the transition from uncertainty to a well-defined event in time.

The sixth chapter is formed as a display of semantic preferences for the term «risk», in the light of modern concepts, and taking into account the material presented in previous chapters. The study is based on logical justifications for the synonymous and functional sequence of terms that preceded or accompanied the appearance of the term «risk». Based on the study of the functional scheme of risk formation in human-machine systems, a linguistically precise definition of the concept of «risk» is formulated as a binary alternative expectation of a specific event on the border between uncertainty and its well-defined state, which is based on its temporal and entropic changes. Such a formulation, according to the authors, maximally

reflects the entire range of properties related to the concept of «risk» in its modern content. A number of more simplified formulations are proposed, including those that are applicable in the humanities and economic fields of knowledge. But at the same time, all formulations have the property of identity and fully reflect the meaning of the term under study.

The seventh chapter presents alternatives to the mathematical apparatus of the theory of probabilistic and statistical method in the form of neural network models that allow combining the event-based nature of risk with artificial intelligence systems. The possibilities of such models, methods of their creation and application are shown.

The eighth chapter shows how the use of the neural network apparatus allows solving the problems of risk management, prevention, and forecasting in modern systems of various levels, outside of probabilistic and statistical analysis methods. A number of examples show various risk management mechanisms in such systems as technical, environmental, managerial, and others. Their comparative analysis makes it possible to evaluate and develop those that may be advantageous for a wide variety of applications.

In the ninth chapter, an attempt is made to bring the proposed methodological solutions closer to the real user by decentralizing information about potential and real event risks that may occur when solving such tasks. For this purpose, *blockchain* distributed ledger technologies have been used, which in recent years have been taking larger niches in practical life, giving the object of risk formation an aspect of high objectivity and independence from many bureaucratic restrictions that are always encountered in purely centralized systems for a wide variety of fields of human activity.

The tenth chapter is devoted to users of products — neural network models of various configurations for assessing and predicting event risks. The proposed distributed registry system, based on *blockchain* technology in the form of an algorithm independent of centralized forms of analysis, allows the average user to receive current and objective information about possible risks in a given sociotechnical system.

The ultimate goal of any new research is to concretize and clarify existing concepts in science or create fundamentally new under-

standings in the field of natural science. The authors hope that the proposed results will help new researchers to approach the issues of universality of the concept of «risk» more accurately and objectively than before, which could ensure its application in a wide variety of fields of human activity. In general, the work is aimed at studying not only quantitative, but also qualitative indicators in risk theory, while focusing on completely new criteria and a fundamentally new object-subject base of risks, which is worthy of a certain, but not yet implemented polemic. Therefore, even in the first approximation, it cannot claim to generalize the role of risk theory. Nevertheless, it will probably be able to bring these understandings closer to a single form and content. That's what we're going to try to prove.

Введение

Слова великого Леонардо да Винчи — «Когда вы опускаете руку в реку, то вы касаетесь «прошлого» для тех, кто располагается выше по течению, и касаетесь «будущего» — для тех, кто находится ниже по течению», можно было бы поставить эпиграфом для этой книги. Потому, что риски всегда соотносились с временной зависимостью вне того, как время сопоставлялось с ними и, даже в том числе, если бы мы были связаны с рисками только одним из его качеств — потенциальной опасностью. Мы попытаемся показать, что это не единственные свойства риска, которые следует принимать во внимание современному пользователю.

Три основополагающие доминанты, без которых невозможно существование не только человека, но и любого другого биологического существа на планете, включают:

- потребности для поддержания собственного биологического состояния на протяжении жизни, а именно, для обеспечения пищей, водой, дыханием, внутрибиологической деятельности;
- потребности для продолжения рода, детородные функции;
- потребности в обеспечении физической безопасности и рефлекторных защитных функций.

Каждая из них является неразрывной составляющей, без которой невозможна жизнь. Согласно пирамиде потребностей американского психолога с украинскими корнями Абрахама Маслоу [1], эти функции, как безусловные, находятся у самого основания такой пирамиды, то есть относятся к фундаментальным.

Физическая, а для человека еще и социальная безопасность, является одним из важнейших условий существования любого биологического вида. Поэтому такой концепт, заключающийся в понимании преодоления бесконечных опасностей, всегда находился в приоритете со стороны людей во все времена существования человеческого общества, при всех социальных укладах, при любых политических сопоставлениях и государственных

устроениях. Перечни опасностей, которым подвергался человек, всегда были зависимы от эпохи, социального строя, технического и энергетического оснащения общества и многого другого. Например, в эпоху собирательства человек не был знаком с такими опасностями, как воздействие взрывчатых веществ или ядерные угрозы. Средневековые не могло столкнуться с глобальными проблемами загрязнения окружающей среды, а XX век познакомил человека с ранее неизвестными опасностями космического излучения, жесткого ультрафиолетового излучения, как производной озоновых дыр, и пагубного влияния углекислого газа. В эпоху новейшего развития человек частично распрощался с такими опасностями, как многие бактериальные инфекции и болезни, но зато получил не только опасности экологического порядка и техногенные катастрофы планетарного масштаба, но и ранее неизвестные масштабные вирусные эпидемии. Будущие угрозы могут быть связаны с искусственными техногенными катастрофами и искажениями информационного пространства, как основы будущей цифровой жизни человечества. Таких опасностей и рисков не могло быть ни 20 тысяч, ни тысячу или двести лет тому назад, ни даже в современном мире. Но и от глобальных вирусных атак, как современного нам глобального риска, человечество должно в будущем избавиться. Такова динамика опасностей и динамика рисков, что показывает еще раз на актуальность и своевременность таких исследований.

Потребности в безопасности для человека с самых давних времен требовали не только самой тщательной оценки, что часто было сопоставимо с жизнью, но и удобных критериев этой оценки. Одним из таких критериев постепенно становился риск. Это был риск возможности наступления опасности, которая грозила физическими потерями или материальным ущербом. Причем, в обобщающем порядке, это понятие не могло быть локализовано ни в отдельных временных периодах, ни в рамках племенных или государственных границ, ни в масштабах социальных устроений и общественных укладов. Оно с самого начала своего применения носило узкий специфический характер для различных локальных объектов применения, но

при этом имело качество всеобщей потребности, и со временем покрывало этой потребностью все более широкие сферы человеческой деятельности: от ожидания урожая и карточной игры или персональной физической безопасности, до рисков, связанных с морскими и другими путешествиями, торговлей, политикой и экономикой, бесконечными войнами и территориальными завоеваниями. Это приводило к большому количеству разночтений в собственно понимании термина «риск», в содержании понятия и его количественных оценках в сторону узкого прикладного их значения, чаще всего существенно отличающегося в этих приложениях.

Слова Конфуция о том, что три вещи никогда не возвращаются обратно — время, слово, возможность, отражают единонаправленность таких вещей. В том числе, это относится к теме монографии — рискам. Это изречение китайского философа весьма опосредованно, но точно описывает сущность риска, рискованных событий в обязательных временных рамках, которая приводит к негативным последствиям для самого человека, для общества в целом, для целых государств и народов.

В упомянутом выше изречении стоит уточнить термин «возможность», синонимизируя его с термином «событие», как объективной реальностью и для самой возможности, и для события, которое понимается здесь как форма реализации данной возможности. В известной литературе встречается разделение понятий «риск» и «рисковое событие» понимая под первым именно возможность события, а под вторым — реализация самого события. Только один пример: «...риск события — это риск того, что в силу редких, непостоянных и очень сильных непредвиденных изменений рыночной ситуации, изменится способность эмитента производить процентные и основные выплаты» [2]. Этим подчеркивается еще раз и событийность риска, и необратимость события, предшественником которому является его возможность.

Поэтому авторы в данной работе приняли как постулат взаимную зависимость риска и событий, которые ему потенциально предшествуют, сопровождают в настоящем времени и уходят

в прошлое, как отпечаток самого риска в исторической цепочке событий.

В монографии предпринята попытка представить некоторый альтернативный вариант взгляда на самое понимание термина «риск», таким образом, чтобы соблюсти вектор на его большую универсальность и масштабность в рамках его применения. В том числе, и с целью расширения его применения в сторону прогнозирования рисков и их профилактики. Что в свою очередь может дать новые импульсы развитию иных способов оценки этого важного для человека понятия.

Риск — это не только необратимость, но еще и неопределенность, что подчеркивается многими исследователями этого феномена, в том числе и сторонниками вероятностно-статистических методов анализа рисков. Потому, при некоторых обстоятельствах, отталкиваясь от такой неопределенности, риск способен реализоваться и в виде конкретного события, вне возможностей для человека предотвратить его появления. И это приводит к ущербу или потере жизни и здоровья. Это и есть факт мгновенного перехода риска от неопределенности к вполне определенному рисковому событию. Но в условиях той же самой неопределенности события его риск может превратиться и в нечто совершенно не актуальное для человека, например, в случаях:

- если человек без ущерба самоустраняется от рискового события;
- если человек компенсирует наступление рискового события некоторыми нейтрализующими действиями и событие не наступает (профилактика риска);
- если безотносительность риска события к конкретному субъекту делает его невосприимчивым к этому риску.

Риск всегда связан с достижением цели. Эта цель опосредованно связана с событийностью, как свойством риска. Конфуций утверждал обязательную неизменность цели: если цель не достигнута, менять надо не цель, а план действий. В этом утверждении важна составляющая событийности, а именно: целеположение в человеческой деятельности должно определяться такой последовательностью событий, которое однозначно способствует до-

стижению этой цели, например, минимизации риска, при условии сопоставимости затратной части этой деятельности и ущерба от реализации риска.

Риск является междисциплинарным понятием, но уже имеет смысл общенаучной области знания. При этом пока не существует общепринятого определения риска. Чаще всего в различных областях знаний понятие риска подменяется понятиями неопределенности, случайности, опасности, ущерба и др. В 1921 году американский ученый Ф. Найт, определяя место риска и неопределенности, ввел отличительные понятия для них, оставив за первым термином право измеримости, он характеризовал риск как «измеряемую неопределенность», в отличии от собственно понятия «неопределенность», которая находится вне поля измерения [3].

Наиболее типичное представление о термине «риск», из существующих, звучит примерно так. «Феномен риска становится не исключительным побочным продуктом или случаем развития современного общества, а представляет собой новую составляющую общественного развития. Производство благ в социальном пространстве оборачивается производством новых рисков во всех сферах человеческой жизни. Вероятностная структура среды, в которую постоянно «погружен» человек, статистический характер и многовариантность, присущие большинству явлений окружающей действительности, обуславливают такой феномен, как риск» [4]. Иными словами, риск в данном прикладном звучании определяется, как априори многозначное понятие, основанное на вероятностно-статистических закономерностях. Однако, даже самые простые обозначения и интерпретации дают основание считать риск значительно более сложным понятием по сравнению со смысловой нагрузкой, которую дают подобные формулировки. Но сложность понятия не всегда означает его логичность. Поэтому, многочисленные обобщения для термина «риск», как правило, базирующиеся на самых общих исследованиях, не всегда обладают тщательной логикой. Это делает такие понятия еще более запутанными или, наоборот, малоинформативными, несмотря на заложенный в них объем достоверной информации.

Риски в человеческой жизни — это более сложная и многозначная парадигма, знания о которой крайне необходимы человечеству в самых различных областях его деятельности. Знания, которые могут уберечь индивида от уничтожения, от болезней и травм, сохранить его экономическое благосостояние и физическое благополучие в современном мире многообразия всего против всего.

Приведем только один пример прикладного характера, отражающий основополагающее свойство термина «риск» и упрощенно обозначенное в [4]. Это равнозначность условий *полезности* «машины» и ее *опасности* или, вредности для человека, как один из постулатов, согласно которым всегда функционировала такая система. Эти равно сопоставимые соотношения сопровождали всю человеческую деятельность как две стороны одной медали, это опасности, риски, ущербы, как расплата за те блага, которые нес в себе социальный прогресс, а позднее, несла в себе научно-техническая революция. Опасности и риски, связанные с эксплуатацией средств производства, условных «машин» и относящихся к ним объектов приложения человеческого труда, относятся к таким понятиям и постепенно понимаются как объективная данность при любом без исключения виде человеческой деятельности.

Каков шанс появления опасностей для человека, от тех искусственных систем, которые созданы его разумом, но зависят от огромного количества внешних факторов? Это вопрос связан с пониманием риска.

Квантуется ли Время? Этот вопрос также опосредованно относится к пониманию смысла риска для человека.

Как соотносится между собой прошлое, настоящее и будущее? Это тоже вопрос к пониманию сущности рисков.

Как соотносится с пониманием рисков информационная и энергетическая составляющие нашего бытия? Это тоже вопрос, который чаще всего напрямую связан с теорией рисков. Теорией, которой пока в универсальном смысле не существует...

Согласно представлениям современной абстрактной науки, два события теоретически будут связаны между собой только в том случае, если фотон света за промежуток времени между

этими событиями проходит расстояние равное или большее, чем расстояние между объектами этих событий. В противном случае эти события не могут быть причинно связанными в силу больших расстояний и (или) малых промежутков времени. Мы покажем, что этот тезис, принадлежащий академику Н. А. Козыреву, также имеет отношение к предмету этой работы, к событийным рискам.

Особая сторона проблемы рискообразования заключается в современной глобализации многих сторон человеческой деятельности, ухода на второй план индивидуального риска в направлении обобщаемого социально наполненного термина. Одна из причин этого стоит в подмене потребностей в устранении прежних опасностей новыми более масштабными «асимметричными» потребностями, которые сразу сталкиваются с многочисленными межкультурными, межэтническими, наднациональными, общечивилизационными рисками совершенно иных масштабов. Они связаны с глобальными проблемами, в частности, колоссальными по объемам, информационными и материальными потоками, трансгосударственным терроризмом, финансово-экономическим гегемонизмом, природными и техногенными катастрофами и многим другим.

Если обратить внимание в будущее, то прикладная и узкая специфическая терминология понятия «риск» сама по себе постепенно становится угрозой для общества. Потому, что такие риски претерпевают вектор развития в сторону глобальных показателей: информационная безопасность, кибербезопасность, техногенная и экологическая безопасность, не сопоставимые с узкой направленностью и прикладным смыслом этого термина в существующем звучании. При этом узкоспециальные термины становятся камнем преткновения для взаимного понимания того, что является предметом этой безопасности или объектом воздействия с целью предупреждения опасности, имеющей глобальный характер. Разве можно сравнить по драматичности риск ушиба конечности для человека, или банкротства отдельного частного предприятия, или даже крушения одного морского судна с риском запуска искусственных вирусных атак на целые континенты, глобальными информационными хакерскими атаками на меж-

дународные банковские сети, или рисками ядерных катастроф. И предмет обсуждения, и способы управления такими рисками в данных случаях явно не соизмеримы. Но запрос на изменение понятия «безопасность» под стать текущим ситуациям уже произошел.

В частности, современные методы ведения деловых отношений, так называемые, популярные сегодня «удаленки» и «облачные технологии» — это явные провалы в безопасности для любого современного объекта. С такими проблемами в области безопасности еще десять лет назад человек просто не сталкивался. Под угрозу ставится сам факт общения между людьми. Риск потерь, ущерб от имплементации сторонних субъектов в облачно-удаленные и другие бесконтактные технологии становится неизмеримо большим, чем, например, дерзкие ограбления банков прошлых веков. Он связан не только с существенно возросшими возможностями для шантажа, рэкета, но и с простым изъятием финансовых средств из «хранилищ», которые потерпевшему субъекту не просто не подчиняются, но и неизвестны в принципе.

В обиходе стали обычными слова — неизвестность, недостижимость, неконтролируемость, пределы возможного для конкретного субъекта. Такие риски становятся в принципе неконтролируемыми, и отсутствуют механизмы влияния на них. Появляется уязвимость иного содержания, когда субъект теряет способности участвовать в безопасности собственных активов — материальных, финансовых, информационных, энергетических. Происходит подмена основных понятий современного мира: утеря принципа собственности. Человек перестает быть полным собственником своих активов, обязательная цифровая база которых расположена в информационных «облаках» даже таких защищенных компаний, как Amazon, Apple, GOOGLE. Теряется смысл понятия «риск» для таких сценариев, когда некто показывает, что небольшой и, как казалось, ничего не значащий сбой в передаче информации приводит к потере этой информации, а за ней и связанных с ней активов, в пользу конкурентов или злоумышленников. Как правило, событием для такого риска становится некоторая компьютерная программа, определенный компьютерный расчет,

механизм которого не известен никому, кроме злоумышленника. Это совершенно новый уровень событийности, ей можно присвоить название «цифровая событийность», но от этого она не перестает быть рискообразующей, причем почти безальтернативно неуловимой.

С такими рисками общество ранее не сталкивалось. И на сегодня существует крайне малое количество способов (априори дорогих) профилактики таких рисков. Причем, как показывает практика, терминологически современные риски цифровых технологий довольно далеки и взаимоисключаемы с тем, что понимается под рисками в технических, социальных, экологических системах современности или прошлого века.

Известное изречение Н. Винера: «не зная сущности объекта им невозможно управлять», как никакое другое может иллюстрировать состояние дел с понятийным потенциалом современного термина «риск». Многочисленные исследования, корни которых теряются в веках, никак не способствовали конкретизации этого понятия. Его интерпретации менялись на протяжении многих сотен лет в угоду современным ему потребностям в прикладном значении, но никак не в фундаментальном, единственно правильном, не зависящем от конъюнктурных соображений тех, кто пользуется этими понятиями. Теоретические исследования подобного рода должны соотноситься с терминологической базой в большей степени аксиоматически, чем многие названия и термины из других теорий и методологий. Как правило, стройная теория, базирующаяся на тщательно отобранном аксиоматическом базисе, создается далеко не сразу и поэтому, простительно, что современная наука в области рискологии имеет значительно большие успехи в прикладных аспектах, чем в методологическом или теоретическом смысле. Тем не менее, теоретические и прикладные разработки в этой области самостоятельно подталкивают исследователей к созданию собственной убедительной теории рисков.

Первая глава настоящей работы посвящена современным интерпретациям понятия риск, в том числе, в понимании риск-инжиниринга, его влияния на формирование вектора безопасности человека в его естественной социальной среде. Показано развитие

понятийных факторов, описывающих риск в ретроспективном аспекте и в зависимости от особенностей человеческой деятельности в различные периоды истории и в разрезе развития социотехнической среды человека. Исследована терминология понятия «риск» и сопоставимых с ним понятий, предшествующих появлению данного термина. Уделено место состоянию теоретических исследований в области рискологии, и проанализированы методы оценки риска в различных областях человеческой деятельности. Обозначены качественные показатели риска, которые могут более точно отразить свойства этого феномена, а именно, время, события, энтропия. В подготовке материалов к первой главе принял активное участие докт. техн. наук доц. А. А. Лямзин.

Во второй главе исследованы вопросы сопоставления вероятностных характеристик риска во временном интервале. Показано, что уже только с учетом времени реализации риска, последний становится более управляемым и аналитически описываемым, что само по себе важно для управляемости любого объекта. Логичным выводом из таких исследований является определение роли неопределенности в понимании процессов рискообразования, как весьма неустойчивого параметра системы. Из такой интерпретации следует взаимозависимость риска от энергетических составляющих изучаемой системы, а также взаимная связь с пониманием роли события в гносеологии понятия «риск».

Третья глава посвящена изучению места и роли стрелы времени и шкалы событий, относящихся к временным интервалам: прошедшему, настоящему и будущему, во взаимном их сопоставлении и сопоставлении с событийным риском. Исследовано смысловое назначение шкалы событий в сопоставительном аспекте синхронных интервалов стрелы времени и шкалы событий. Впервые обращено внимание на весьма специфический отрезок времени, предшествующий свершению одного из событий, которое становится реальностью при переходе из будущего к настоящему. Исследованы свойства этого бесконечно малого временного интервала и показана его роль в формировании механизмов реализации рискообразующих событий от состояния их бифуркационной неопределенности к состоянию вполне определенному.

Показано, что взаимная связь потенциальных рискообразующих событий с их причинно-следственными связями позволяет реально оценивать диапазон приоритетов при анализе возможных и реальных рисков, которые материализуются из будущего, как свершаемые. Применение теории катастроф для изучения рисков во временном и событийном интервале позволило изучить области устойчивости динамической системы $R(s, \tau)$ в ее сопоставимых условиях. Применен метод графопостроений для отображения иерархической структуры системы $R(s, \tau)$ с целью реализации методов прогнозирования рискообразующих событий.

В четвертой главе рассмотрены вопросы энергетических взаимоотношений в системе, для которой реализуется рискообразующее событие. Показано, что любой риск имеет неотъемлемую составляющую в виде событийной энергетической трансформации, при которой очевидными являются поведенческая сингулярность и суперпозициональность в изменениях энергии, за счет которой зарождаются и реализуются рискообразующие события. В работе удалось объективно связать вместе время, события и меру рассеяния энергии в процессе реализации тех или иных событийных сценариев при переходе от предполагаемого к реальному, то есть, при факторизации конкретных рискообразующих событий. При этом равноправной для уже исследованных шкал является шкала изменения энтропии системы и риск получает уточненное значение в виде зависимости $R(s, \tau, \Delta S)$, который максимально отражает многие свойства понятия «риск» для абсолютного большинства рискообразующих систем.

Пятая глава посвящена вопросам взаимодействия в человеко-машинных системах самого различного происхождения, то есть в той части, которая касается, прежде всего, производственной деятельности человека. На ряде примеров можно проследить, как изменяется состояние рискообразующей системы, в которой принимает участие человек в условиях предположительной неопределенности и, последовательно, в бесконечно малом интервале, предшествующем настоящему времени. И как при этом изменяются энтропия системы, способная к переходам в другие координаты, в полном соответствии с современной интерпрета-

цией второго закона термодинамики для неравновесных систем. При этом учитываются бифуркационные изменения, как инструмент перехода от неопределенности к вполне определенному событию во времени.

Шестая глава сформирована как отображение семантических предпочтений для термина «риск», в свете современных представлений, и с учетом материала, изложенного в предыдущих главах. В основу исследования положены логические обоснования для синонимической и функциональной последовательности содержания терминов, предшествовавших появлению термина «риск» или сопутствовавших ему. На основании изучения функциональной схемы рискообразования в человеко-машинных системах сформулировано лингвистически точное определение понятия «риск», как бинарное альтернативное ожидание конкретного события на границе между неопределенностью и вполне определенным его состоянием, в основе которого лежат его временные и энтропийные изменения. Подобная формулировка, по мнению авторов, максимально отражает весь спектр свойств, относящихся к понятию «риск» в современном его содержании. Предложен ряд более упрощенных для понимания формулировок, в том числе, таких которые применимы в гуманитарных и экономических областях знаний. Но при этом все формулировки обладают свойством идентичности и полно отражают смысл исследуемого термина.

В седьмой главе представлены альтернативы математическому аппарату теории вероятностно-статистического метода оценки риска в виде моделей нейронных сетей, позволяющих соединить воедино событийную сущность риска с системами искусственного интеллекта. Показаны возможности таких моделей, методы их создания и применения.

В восьмой главе показано, как применение аппарата нейронных сетей позволяет решать задачи управления, профилактики и прогнозирования рисков в современных системах различного уровня, вне вероятностно-статистических методов анализа. На ряде примеров представлены различные механизмы управления рисками в таких системах, как технические, экологические, управленческие и другие. Их сопоставительный анализ дает воз-

возможность оценить и развивать те из них, которые могут оказаться преимущественными для самых различных областей применения.

В девятой главе на ряде примеров представлены различные механизмы управления рисками в таких системах, как технические, экологические, управленческие и другие. Их сопоставительный анализ дает возможность оценить и развивать те из них, которые могут оказаться преимущественными для самых различных областей применения. Уделено внимание перспективным глубоким рекуррентным сетям *RNN* для создания моделей нейронных сетей с большим количеством случайных и неопределенных входных сигналов, что крайне важно для оценки и прогнозирования рисков для большой группы социотехнических систем различного назначения.

В десятой главе сделана попытка приблизить предлагаемые методические решения к реальному пользователю посредством децентрализации информации о потенциальных и реальных событийных рисках, которые могут иметь место при решении таких задач. Для этого использованы технологии распределенных реестров *blockchain*, которые в последние годы нанимают все большие ниши в практической жизни, придавая объекту риск-образования аспект высокой объективности и независимости от многих бюрократических ограничений, с которыми всегда встречаются в сугубо централизованных системах для самых различных областей человеческой деятельности.

Конечной целью любого нового исследования является конкретизация и уточнение существующих в науке понятий или создание принципиально новых пониманий в области естествознания. Авторы рассчитывают на то, что предложенные результаты помогут новым исследователям более точно и объективно, чем ранее, подходить к рассмотрению вопросов универсальности понятия «риск», которое могло бы обеспечить его применение в самых различных областях человеческой деятельности. В целом работа направлена на изучение не только количественных, но и качественных показателей в теории рисков, ориентируется при этом на совершенно новые критерии и принципиально новую объектно-субъектную базу рисков, что достойно определенной,

но пока не осуществленной полемики. Поэтому, даже в первом приближении она не может претендовать на обобщающую роль теории рисков. Тем не менее, приблизить эти понимания к единой форме и содержанию она, пожалуй, сможет. Что мы и попытаемся доказать.

ГЛАВА 1

ПОНЯТИЙНЫЕ ОСНОВЫ СОБЫТИЙНОГО РИСК-ИНЖИНИРИНГА

1.1. Особенности формирования вектора безопасного развития человека в социотехнической среде

Обеспечение безопасности есть одно из трех безусловных потребностей любого биологического существа, наравне с поддержанием его физического существования (пища, вода, воздух) и потребностью в продолжении рода. Это потребности, соблюдение которых, в совокупности, позволяет выживать практически всему живому на Земле. Активная деятельность человека, как и любого другого живого существа на планете, так или иначе, связана с опасностями, которым он подвергается в процессе этой деятельности.

Фактическая опасность предвещается такими понятиями, как угроза, потери, риск, состояние которых зависит от множества факторов, как внутреннего содержания, так и внешнего воздействия. Защита, предупреждение от таких воздействий, их профилактика составляют знания о безопасности человека. Безопасность человека означает сведение угрозы, от воздействия опасных и вредных факторов, а значит и соответствующего риска, к минимуму. Само понятие «безопасность» связано с отсутствием опасностей либо наличием возможностей для надежной защиты от них.

При этом присутствует понимание, что абсолютной безопасности для человека не существует априори. Человеческая безопасность есть категория относительная, и критерием этой относительности является понятие риска. Отдельные факторы опасности от проявления природных, техногенных, социальных и других рисков представлены в таблице 1.1, где они сведены воедино с признаками, определяющими вид деятельности человека.

Каждый из элементов, приносящих опасность благополучию или благосостоянию человека, его жизни или здоровью, представляет собой результат цепочки некоторых *последовательных действий*, целью которых не всегда является угроза человеку. Тем не менее, это такие действия, которые приводят к накоплению условий для появления опасностей: прямых или косвенных, но создающих определенные риски для безопасности человека. Для того, чтобы опасность проявила себя в виде реального результата, необходима цепочка *событий*, которая приведет к реальному нежелательному результату. Таким образом существует последовательная цепочка «опасность — риск — событие — результат».

Таблица 1.1 — Определения понятия безопасности для некоторых областей практических знаний

№	Тип безопасности	Понятие в принятых терминах
1	Военная безопасность	Состояние защищенности организма человека от внешнего поражения средствами вооружения боевого противника
2	Безопасность труда	Состояние защищенности работников , обеспеченное комплексом мероприятий, исключающих воздействие вредных и (или) опасных производственных факторов на работников в процессе трудовой деятельности
3	Безопасность жизнедеятельности	Состояние защищенности человека в условиях окружающей среды от негативных и опасных воздействий антропогенного и естественного происхождения и достижение комфортных или безопасных условий жизнедеятельности
4	Пожарная безопасность	Состояние защищенности личности , имущества, общества и государства от пожаров и огня
5	Химическая безопасность	Состояние, при котором исключаются условия для химического заражения или поражения людей

Окончание табл. 1.1

№	Тип безопасности	Понятие в принятых терминах
6	Электромагнитная безопасность	Область знаний о вреде, наносимом человеку электромагнитным излучением
7	Кибернетическая безопасность	Процесс использования мер безопасности для человека путем обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности данных и меры по защите систем, сетей и программных приложений от цифровых атак (Cisco)
8	Экономическая безопасность	Защита от экономической неустойчивости и нестабильности, достижение экономического благополучия отдельных членов общества , обеспечение контроля за соблюдением экономических интересов всего общества
9	Финансовая безопасность	Обеспечение условий для стабильности универсальных обменных ресурсов, принадлежащих человеку , как результат его труда и манипуляций, а также защиты от их отъема и сохранения
10	Социальная безопасность	Обеспечение защиты человека от проявлений психологических и психоэмоциональных, личностных и межличностных воздействий на индивида, пребывающего в социальной среде
11	Медицинская безопасность	Относится к безопасности пациентов при любых видах медицинского обслуживания и медицинской деятельности, отсутствие предпосылок к развитию опасностей для жизни человека в условиях оказания медицинской помощи

В этой системе существуют три составляющие для любого события: *субъект воздействия, объект воздействия и предмет воздействия*, принадлежность которых определяется многими компонентами техногенного, экономического, социального, политического наполнения. И каждый из них по-своему влияет на появление опасной среды для человека (табл. 1.2). Здесь:

- *субъект воздействия* — это предмет или лицо, оказывающее некоторое воздействие на человека с определенной целью;
- *объект воздействия* — это предмет или лицо, на которое оказывается специфическое воздействие и, тем самым, зависимое от субъекта;
- *предмет воздействия* — элемент, который доступно описан в юридических терминах и обозначает функцию специфического воздействия в системе.

Таблица 1.2 — Безопасность, как функция регулирования влияния на жизнь и здоровье человека

№	Тип безопасности	Субъект воздействия	Объект воздействия	Предмет воздействия
1	Военная безопасность	Боевая единица противника	Участник боевых действий, боец	Нарушить целостность организма путем ранения или потери жизни
2	Безопасность труда	Техническая система (ТС) или технологический процесс (ТП)	Работник, обеспечивающий функционирование ТС или ТП	Нарушить здоровье, привести к потере жизни или профзаболеванию
3	Безопасность жизнедеятельности	Окружающая антропогенная и техногенная среда, в том числе, с экстремальными параметрами	Человек в системе окружающей среды	Нарушить комфортные или безопасные условия жизнедеятельности
4	Пожарная безопасность	Температура в зоне горения. Задымление и загазованность пространства	Человек, материальные ценности	Разрушить материальные ценности, привести к потере человеческой жизни

Окончание табл. 1.1

№	Тип безопасности	Субъект воздействия	Объект воздействия	Предмет воздействия
5	Химическая безопасность	Химически активные вещества	Человек в зоне воздействия химических веществ	Химическое воздействие: отравление, химический ожог и др.
6	Экологическая безопасность	Окружающая природная среда	Человек в зоне антропогенных факторов	Нарушить здоровье человека, привести к заболеваниям, потере жизни
7	Электромагнитная безопасность	Электромагнитные излучения	Человек в зоне электромагнитного излучения	Нарушить здоровье человека, целостность организма
8	Кибернетическая безопасность	Несанкционированный индуктор в программном обеспечении информации	Пользователь программного обеспечения	Разрушить основы участия пользователя в системе, нарушить его здоровье или благосостояние
9	Финансовая безопасность	Финансовый мошенник, субъект криминалитета	Законный пользователь финансового обеспечения	Отнять или перераспределить финансовые потоки

Определить четкое направление вектора безопасного развития человечества в сформированной им социотехнической среде новой эпохи почти невозможно. Безопасное развитие во многом зависит от характера и результатов жизнедеятельности человека, которые коррелируются с его биологическими и социальными потребностями, объемами потребления ресурсов и техническими возможностями самого общества (рис. 1.1). Оно крайне относительное и трудно поддается управлению по указанным выше причинам.



Рисунок 1.1 — Графический механизм определения некоторых особенностей природы безопасного развития человека в социотехнической среде

Результаты прогноза развития вектора безопасности следует считать условными, поскольку они получены на предположении стабильности развития человечества в целом, а данное допущение противоречит аксиоме, которая раскрывает социотехническую среду как открытую и динамично развивающуюся, не только в географической, но и временной плоскостях. Таким образом, мы можем говорить исключительно о возможных сценариях событий, направленных на развитие сложных систем и степени их безопасного существования в исследуемой среде в будущем.

Современные координаты вектора безопасного развития человечества вследствие роста масштабов освоения им существующих природных ресурсов в настоящее время вошли в зону рисков на отрезке между точками $T_1 \div T_2$ (см. рис. 1.1), имеющих различную природу кризиса, т. е. в такое состояние, при котором неизбежен резкий, крутой перелом. Данный прогноз предус-

матривает пять «уникальных» сценариев будущего (вариантов развития процесса).

Если человечество не сумеет обеспечить реализацию концепции «ассимиляционного развития», т. е. если после точки T_1 на временном отрезке будет продолжаться стихийное использование ресурсов до достижения предела их возможностей в точке ресурсного предела T , тогда его, скорее всего, ждет одна из катастроф, варианты которых несложно проследить, если иметь представление о векторах развития общества.

В первом варианте — техногенная катастрофа в результате реализации мощного технического и технологического потенциалов человечества при международных конфликтах в бескомпромиссной борьбе за дефицитные ресурсы и право на лучшие условия жизни (например: военные и «экономические» конфликты), данная реальность сформировалась в современной эпохе и стала теперь постоянной. Следует подчеркнуть, что такой вариант является «пусковым механизмом» к формированию природы второго варианта безопасного развития человечества в социотехнической среде.

Во втором варианте — эпидемиологическая катастрофа (полная «естественная» гибель от непредсказуемых последствий глобального преобразования биосферы, или, например, от неизвестной и неожиданной эпидемии типа COVID).

Синтез взаимопересекающихся процессов в первом и втором вариантах формируют природу **третьего варианта** безопасного развития человечества в социотехнической среде, основанного на предположении об уменьшении потребления ресурсов человечеством (уменьшение численности населения, вызванное войнами и эпидемиями) и как следствие уменьшение антропогенной нагрузки на биосферу до пределов, ограниченных ее способностью к регенерации загрязнений.

Четвертый вариант сформирован на основе видения развития природы безопасности человечества в социотехнической среде, таких сторонников синергизма, как С. П. Капица и др. Решение проблемы, согласно их точке зрения, заключается в понимании человечеством глобальности проблем: «...когда смотришь

в бездну, бездна смотрит в тебя» (Ницше), что позволит благополучно разрешить межнациональные конфликты (без применения технологий взаимного уничтожения глобальной мощности) при «демографическом переходе» к стабилизации и разумного потребления ресурсов (например: Киотский договор) странами с разным уровнем развития.

Возможен и гипотетический **пятый вариант**. Он может быть связан с переходом человечества к так называемой «астроинженерной» деятельности, с его «ноокосмическим» развитием. Такой вариант обещает неограниченный рост потребляемых ресурсов, но требует времени для освоения космического пространства. В нашем понимании в пределах ближайших десятилетий, важнейших для преодоления кризиса развития человечества (если не вообще), этот вариант представляется нереальным.

Таким образом, варианты условного безопасного развития можно разделить на две базовые группы:

- либо это *катастрофа* для всего человечества при непринятии неотложных мер (варианты: I, II, III);
- либо *устойчивое развитие* с кардинальным изменением принципов и характера жизнедеятельности (вариант IV).

Одним из реальных механизмов запуска тех или иных вариантов является рискинжиниринг, его прогностические возможности для практически всех видов человеческой деятельности, где присутствуют какие-либо машины, производящие системы в сочетании с окружающей средой.

1.2. Трансформация понятийных закономерностей, описывающих природу термина «риск»

Возможности для относительно безопасного развития человечества в социотехнической среде — это знания о совокупности условий и факторов, которые создают опасность жизненно важным интересам личности, общества, государства. Угроза понимается, как конфликт целей либо путей их достижения, ради которых осуществляются некоторые функции. В литературе можно прочитать,

что угроза — это такие изменения во внутренней или внешней среде, которые приведут к нежелательным изменениям объекта безопасности. Такой подход близок к пониманию риска [1]. Или: «угроза — это ... возмущение, которое выводит объект из состояния устойчивого равновесия, обеспечивающего его стабильное функционирование и развитие» [2]. Семантика понятия «угроза» во все времена ассоциировалась с потерями (физиологическими, материальными, социальными) и никак не может сопоставляться с получением положительного результата.

Понятие «угроза», как проблема, с которой сталкивается человечество, имеет сложную семантическую формулу, сформированную широким спектром факторов. В данной работе визуализировать семантическую формулу понятие «угроза», предлагается впервые в виде диаграммы Исикавы (рис. 1.2).

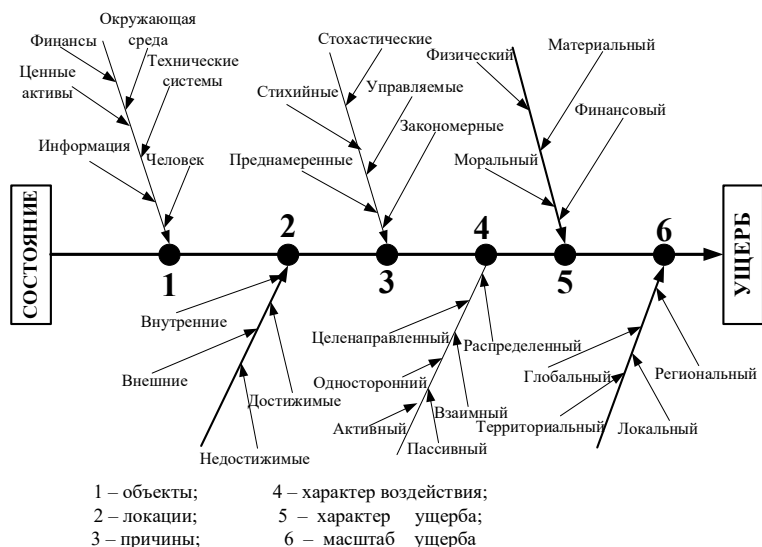


Рисунок 1.2 — Семантическая формула понятия «угроза»

Долгое время термин «угроза» был основным понятием в области знаний о безопасности. «Риск», как альтернатива термину «угроза», в давние времена пришел из-за рубежа. Еще

Гомер упоминал о риске, как о термине «опасности лавирования между скал» [3]. Исходное понятие «риск» относят, как правило, к греческим терминам *ridsikón*, *ridsa* — утес, скала или *ρίζικόν* — опасность. Либо от латинских терминов *resesō* — отсекать, сокращать. Словарь общих терминов С. И. Ожегова дает лингвистическое смысловое определение термину «риск», как «возможность опасности» или как «действие наудачу в надежде на счастливый исход». В словаре Н. Вебстера можно получить семантическое определение этого понятия, как «опасность, возможность убытка или ущерба».

По мнению П. Бернштейна [4], впервые термин «риск» получил признание в связи развитием азартных игр еще в XIII веке, как возможная и не смелая альтернатива божественному предопределению. Это дало толчок смысловому расширению этого термина, как со стороны прикладной экономики и мореплавания [5, 6], так и со стороны математической науки [7, 8].

На протяжении длительного времени эволюция вектора развития понимания термина «риск» была связана с территориально-демографической принадлежностью создателей и пользователей этого термина и его функционального наполнения, в зависимости от конкретных задач, которые при этом решались. Исходя из такого его смыслового наполнения, с некоторыми допущениями, можно было представить географической осью тогдашнего научного мира, принимая универсальность для всего процесса созидания, связанного со всеми видами деятельности человека:

– арабский (на арабском языке *Maghribi rezq*), имеющий несколько значений: «обеспечение, жребий, доля, выделенная Богом каждому человеку», «средства к существованию, пропитание», отсюда «благо, благословение (данное Богом)», «собственность, богатство» доход, заработная плата и, наконец, «удача, судьба, случай»

– итальянский вариант: (*rischio*, 1292 г., *risico* 1367 г.), оба понятия интерпретируются как: «возможность вреда, неприятные последствия и т. д.», помимо этого есть версия, основанная на раннем происхождении итальянского термина *risk* *risicare*, что означает «осмелиться»;

– постклассический латинский термин: (*resicum, rischum*) понятие сформировано в середине XII в. в итальянских источниках, а также в середине XII века в документе из Константинополя; (*risigum, resigum* 1227–1228 гг. в окситанских источниках); все понятия интерпретируются в коммерческом контексте «*insense*» (валлонский): опасность — *resicq*: возможность повреждения или потерь материальных ценностей (2-я половина XV века);

– каталонский подход к понятию риск: (*gees*), опасность, риск, возможность повреждения товара при морской транспортировке (XIII век);

– испанское *riesgo*: конфликт, разногласие (1300 г.), возможность вредных или неприятных последствий (XVI век);

– голландское *resicq* (1563 г.), рискованное, зарегистрировано в Нидерландах в смысле «возможность повреждения товара»;

– французский вариант: риск, как уровень прогнозируемой опасности или «неудобства» (1578 г. во французском языке термин рассматривался только как существительное женского рода, в 1633 г. как существительное мужского рода; в 1690 г. стал применяться как термин правового поля);

В XVI веке именно математик Дж. Кардано [9], объясняя смысл термина «шанс», впервые ввел вероятностное соотношение числа благоприятных случаев к общему числу *событий*, которое потом перекочевало в теорию рисков на безальтернативной основе.

Его работы уже в XVII веке поддержали Б. Паскаль и П. Ферма, а позднее Д. Грант, своими трудами в области теории вероятности и, тем самым, представили вполне реальные возможности для количественной оценки рисков и «вычислений будущего». Вскоре разработки Гранта и Галлея пришлось ко двору при оценке морских рисков, а также весьма актуальных рисков в страховом бизнесе, который к тому времени превратился в эффективный источник приобретения и накопления капитала.

Но уже в XVIII веке Д. Бернулли обратил внимание на то, что компании более интересуются не величиной риска, а сценарием событий, являющихся предшественниками состоявшегося риска и, в особенности, последствиями этих событий, подчеркивая при этом личностную субъективность таких сценариев. Этого теория

вероятности дать понятию риска не могла по предназначению. Но она устояла в своих претензиях на количественную оценку этому показателю.

А далее, этому термину присваиваются качества, делающие его понятным и удобоваримым только для конкретного объекта воздействия или для конкретной области применения. В целом, риск связывают либо с опасностями для человека, его здоровья, жизни (производственный и бытовой риск, туристический, военный, медицинский риски и др.), либо с возможностью нанесения материального ущерба в самых различных его проявлениях (экономические потери, возможности неудачи, потеря или недополучение выгоды в сравнении с прогнозируемым результатом, угроза потери ресурсов, дополнительные расходы, крах компании и др.). Отсюда получаем многообразие частных интерпретаций искомого термина. Очевидным является именно множественность объектно-функционального назначения смысла этого термина. Отсюда неоднозначность, в целом, всегда правильных, но крайне локализованных областью применения, по смыслу, понятий для термина «риск».

В работах Й. Шумпетера и Т. Бачкаи можно встретить понятие риска, как «источника» прибыли или убытков [10, 11]. В XIX веке понятие риска уже надежно перекочевало в экономические науки, благодаря работам А. Пигу и А. Маршалла, а позднее Дж. Кейнса, которые создали, а потом свели воедино с классической теорией довольно эффективную «неоклассическую» теорию предпринимательского риска, показав, что доход предприятия есть функция от большого числа факторов неопределенности, и он зависит от вероятностных колебаний последних. Эти исследования имеют продолжения и сегодня. Однако, на их основе весьма затруднительно понимание природы такого универсального явления, как риск. Методы, позволяющие изучать его, например, в экономике, не проявляют себя в других областях, где необходимы знания по рискологии — в трудовой деятельности, в военном деле, для ядерной безопасности, в кибернетике и др. И наоборот.

Все это показывает на распространенность и традиции рассматриваемого здесь понятия, его исходную этимологию, которая

в историческом аспекте меняла свое смысловое значение в зависимости от существовавших особенностей.

В литературе можно встретить понимание риска, как возможности неудачи, непопадание в цель. Как понимание неопределенности. Известно мнение, что функционально риск — это реализация угрозы. Это не совсем правильно. Точнее было бы показать, что риск — это приобретение возможностей для свершения события, ведущего к нарушению режима функционирования системы, экономическим и др. потерям [12]. Риск легко сводить к количественному измерению параметров события, приведшего к потерям. Представляет интерес трактовка риска, как события или группы случайных событий, наносящих ущерб системе [13].

Риск рассматривается здесь как опасность неблагоприятного исхода, приходящего на одно ожидаемое явление.

Авторы связывают это с термином «шанс». Риск интерпретируется как вероятностное отклонение от ожидаемого исхода, что может привести как к потерям, так и к выигрышам. Идея риска, как отклонения от запланированного результата, имеет приверженцев в экономике, как достигаемый выигрыш или проигрыш. Но такой подход не понимается в других областях деятельности: технической, ядерной, химической...

Мы не будем подробно рассматривать и систематизировать большую часть из существующих классификаций рисков. Они широко известны, по крайней мере, в нескольких интерпретациях [14–24] и могут давать возможности для понятийного анализа термина. Рассмотрим только некоторые из таких интерпретаций понятия «риск», которые описаны в доступной литературе и могут послужить иллюстрацией к следующему.

Отличительной особенностью таких классификаторов является объектно-функциональное наполнение смысла понятия риска. То есть принадлежность понятия к определенной области человеческой деятельности: производству, экономике, бизнесу, страховому делу, финансам и т.д. Отсюда многочисленные интерпретации самого понятия «риск». Видимо отсюда такое многообразие интерпретаций термина «риск», имеющего существенные смысловые отличия. Общее правило здесь может

быть таковым: чем более размыто конкретное понятие в науке, тем менее оно объективно и изучено. Это полностью относится к термину «риск». Прежде всего:

риск R — количественная характеристика опасности, определяемая частотой реализации опасностей. Это отношение числа неблагоприятных результатов (число смертельных случаев, число случаев заболеваний, потерь трудоспособности, инвалидности и т. д.), которые связаны с воздействием на человека конкретных опасных факторов $n(t)$ к их потенциально возможному числу $N(t)$, за определенный период времени: $R = n(t) / N(t)$;

риск — это вероятность возможной нежелательной потери чего-либо при плохом стечении обстоятельств;

риск — это вероятность наступления события, нежелательного для конкретного субъекта;

риск в узком смысле — количественная оценка опасностей, определяется как частота одного события при наступлении другого;

риск — это вероятность выхода опасного фактора из-под контроля и серьезность последствий, выражаемая степенью проявления.

И т. д.

Эти понятия, как правило, связаны со статистическими методами оценки риска. Они характерны в основном для выявления опасностей для человека, как биологического существа. В их основе вероятностная формулировка понятия «риск». Согласимся только с тем, что применять вероятностные методы анализа для точного количественного измерения значения риска, мягко говоря, некорректно, так как теряется смысл однозначности такого измерения. Одним из первых, кто авторитетно обратил внимание на проблемность вероятностных оценок уровня риска, был украинский ученый В. И. Пампура [25].

Показано, что подобные методы оценки рисков носят априорно стохастический характер и, как правило, не способствуют возможностям прогнозирования или предупреждения аварий, не позволяют осуществить наиболее простой принцип экспертного анализа — разработки сценариев возможных аварийных ситуаций в виде инструктивной документации. Неизменность

частоты аварий, закладываемая в понятие риска и основанная на его вероятностных характеристиках, является существенным препятствием для оценки гипотетических аварийных сценариев и их последующей объективизации.

Вероятность, в принципе, сводится к формуле для определения отношения числа благоприятных случаев к общему числу случаев. И не более того. Очевидная условность такого показателя в том, что здесь интуиция человека входит в противоречие с вероятностью, а вместе — в противоречие с математической строгостью. Вероятность может иметь четкое определение только в том случае, если удастся определить механизм (метод) выбора случайных величин, закладываемых в это понятие.

Пример «парадокса Бертрана» о случайном выборе хорд, который до сих пор вынуждает математиков иметь по нему различные мнения, тому подтверждение. Общий вывод из такого парадокса для теории вероятности заключается в том, что без задания равномерного случайного выбора нельзя получить однозначный правильный результат. Вместо этого получаем целый разброс вероятностей того, когда искомая хорда больше длины стороны вписанного треугольника. Каждый из предложенных способов (рис. 1.3) по-разному определял равномерность случайного выбора: на площади круга (а), на радиусе круга (б), на дуге окружности (в). В исходном условии задачи для парадокса Бертрана условия равномерности определены не точно, и это дает такой разброс в решениях, а значит и их неопределенность. Парадокс Бертрана — это весьма наглядный, но не единичный случай, а хороший пример того, какие ловушки ставит перед нами теория вероятностей в прикладных задачах.

Как в самом «парадоксе», так и в большинстве задач из области теории вероятности, результат зависит от правил выбора случайных величин в их прямом сопоставлении. Фактор равномерного случайного выбора актуален для любой статистической выборки, применяемой для расчета вероятности события. На примере парадокса можно судить о том, что существует разные способы выбора равномерности случайным образом. Важна однозначность метода, которым мы выбираем случайные числа или просто случайности.

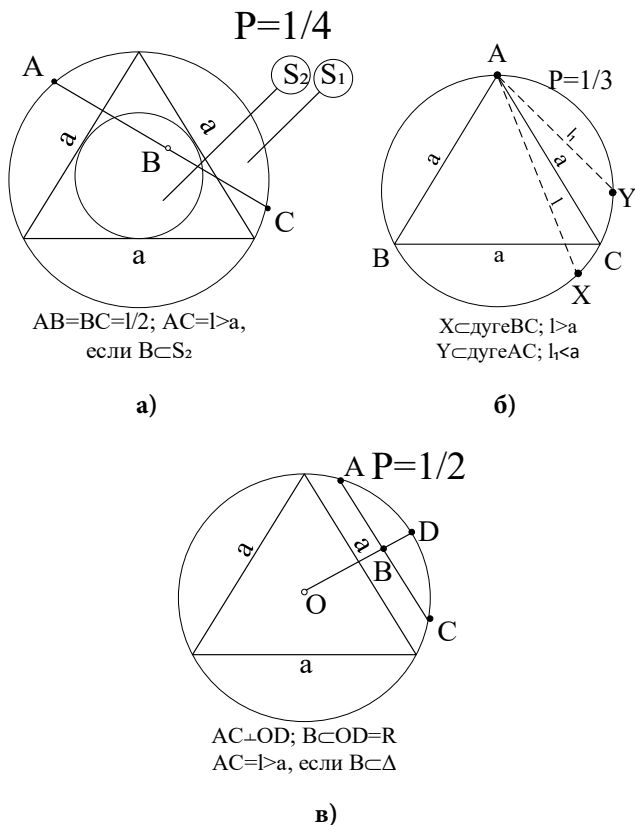


Рисунок 1.3 — Некоторые варианты решения парадокса Бертрана:

- а) центр хорды с условием $AC > a$ расположен в окружности, вписанной в треугольник, $P = 0,25$; б) хорда $l > a$, если точка $X \in \text{дуге } BC$, $P = 0,33$; в) центр B хорды AC расположен на радиусе $OD \perp a$, $AC > a$, если $B \in \Delta$, $P = 0,5$

Здесь ключевым термином является слово «случайность», которое, чаще всего, сводит к нулю все требования о достоверности результатов. В некоторых случаях это правило разрешимо, и в задачах по теории вероятности удастся определиться с такими случайностями. Но это лишь тот вариант, когда исключение является подтверждением общего правила: нельзя произвольно

задаваться случайными данными и при этом требовать точного и объективного результата.

Когда мы говорим о таком показателе, как человеческий риск, подобную случайность игнорировать не получается потому, что результатом может являться некоторая неопределенность, которая не имеет право становиться объективным показателем риска.

Существуют иные модификации термина «риск», которые чаще всего применяются в экономических и равных с ними моделях.

Риск — возможность понесения потерь вследствие случайного характера результатов принимаемых хозяйственных решений или совершаемых действий.

Риск — показатель опасности или совокупности опасностей, установленный для определенного объекта в стоимостном выражении его потерь (ущерба) за заданное время.

Риск — это произведение вероятности на убыток.

Примером еще более узкой и сложной объектно-функциональной интерпретации понятия «риск» служит работа [27], в которой автор дает следующую формулировку, применительно к так называемым CCF-потокам (Conventional Cash Flow), условным денежным потокам между объектами экономических отношений. Здесь **риск** — это вероятное уменьшение стоимости положительных CCF будущих периодов и вероятное увеличение (по абсолютной величине) стоимости отрицательных CCF будущих периодов, происходящие вследствие наступления событий, нежелательных для конкретного субъекта экономических отношений. Столь специфическая интерпретация искомого термина, безусловно, затруднит его применение не только в других областях притязания, но и в самой экономике, страховом или банковском секторах.

Мы сталкиваемся с ситуацией, когда в самых различных областях применения риска аналитикам приходится прощаться с вероятностно-статистическими методами его анализа, в пользу других, часто эмпирических методов.

Здесь уместна ссылка на работы ученого из Оксфорда, специалиста по квантовой механике Дэвида Дойча, который разраба-

тывает так называемую «теорию конструктора», в которой делает попытку формировать мир, в котором вероятности и случайности в физическом мире просто отсутствуют. Цель теории — установить, какие события могут происходить с учетом среды окружения, а какие — нет. Автор делит процессы на реальные и полностью исключаемые в зависимости от условий внешней среды. В фундаменте теории — понимание, что в основе всех физических категорий лежат возможные и невозможные преобразования, которые в условиях необратимости приобретают объективный смысл, как «кирпичики» мироздания.

Вторая группа понятий термина «риск» связана со смысловым характером неопределенности прогнозируемого события, являющегося основой для риска. К ним относятся, например:

риск — это неопределенное *событие* или условие, которое в случае возникновения имеет позитивное или негативное воздействие на репутацию компании, приводит к приобретениям или потерям в денежном выражении;

риск — характеристика ситуации, имеющей *неопределенность* исхода, при обязательном наличии неблагоприятных последствий.

Еще ранее включились в эту дискуссию философы. В качестве иллюстрации одного из понятий риска можно процитировать следующее:

риск — это исторически и социально заданная форма проблематизации будущего, выражающая соответствие между актуальным настоящим и неопределенным будущим в сознании личности, социокультурный смысл которой определяется внутренней сложностью общества и способностью человека формулировать и решать все более сложные задачи [27].

Представляет интерес понятие термина «риск», данное в ISO-31000:2018 [28], как «влияние неопределенности на цели», где под термином «влияние» понимается отклонение от ожидаемого результата, под неопределенностью понимается состояние недостаточности информации для понимания сущности события, обеспечивающего достижение цели. Такое определение уже отходит от вероятностных формулировок в сторону событий-

ности и дуальности. Вслед за этим появляются работы, в которых авторы уделяют больше внимания такому свойству риска, как его событийность, то есть, тому, что связано с событиями, составляющими основу риска, угрозы негативного результата. Например, согласно рассуждениям П. Демина [29], риск — это *событие*, расположенное между причинами его появления и наступившими последствиями. Подобная интересная интерпретация значительно ближе к смыслу понятия риск, как функциональному объекту. Здесь риск — это просто событие, специфическое в черед других равнозначных и не равнозначных событий, результат которого (или последствия) сопряжены с потерями, ущербом, катаклизмами и другими нежелательными результатами. *Событийно* оценивается риск и в работах В. И. Пампура [30, 31]. Риск в проект-менеджменте тоже оказывается удобно оценивать в категориях событий и неопределенностей [32]. Термин «риск» относят к

- событию, которое еще не произошло;
- возможности события;
- событию, которое можно предотвратить;
- событию с последствиями, которые могут быть минимизированы [33].

Обращаем внимание на очевидность такого определения, но нельзя не подчеркнуть и его недосказанность. Риск — это не просто *событие*. По своему содержанию, риск — это *ожидание события* и не простого, а того, которое дает вполне определенный результат, негативный или положительный, ущерб или выигрыш, то есть возможную альтернативу в виде некоторой бинарной критичности и, разумеется, с учетом определенных свойств этого показателя.

Тем не менее, такие определения более предпочтительны для наших исследований, так как содержат в себе смысл переходных процессов от неопределенности к определенному достижимому результату, его цели, подчеркивая дихотомизм (или бинарность) понятия «риск» и его событийный характер. Эти определения, отображая, на наш взгляд, одно из основных свойств риска, а именно, его *событийность*, не указывают на другие наиболее

значимые свойства этого термина, которые обеспечивают его актуальность для аналитики. Тем не менее, такой подход явно предпочтительнее чисто статистических методов оценки риска потому, что относит к рискам их сущность, а именно, их событийность и их причинно-следственную зависимость. Существует мнение, что это далеко не все значимые свойства, характерные для нашего термина, но и такая интерпретация уже является существенным прорывом на пути к пониманию риска.

Чаще всего обращают внимание на два аспекта в понимании риска: неопределенность события и его измеримость [13, 32]. Иногда риск и неопределенность отождествляются [33]. Из более современных работ можно сделать вывод о том, что использование в определениях риска терминов «*вероятность*» и «*неопределенность*» может быть недостаточно корректным. Вероятность — это только одно из возможных математических измерений риска, но не любого; а неопределенность не тождественна риску хотя бы потому, что она может не содержать негативного элемента: неопределенность ожидания какого-либо явления может вполне заключать в себе и благоприятные исходы [13]. В некоторых трудах, например, там же [13] риск понимается не как событие, а как действие, деятельность. При этом утверждается, что риск, как деятельность, связан либо только с выбором, либо с неизбежностью выбора. Но выбор — это тоже действие, вид деятельности (!), в основе которого лежат определенные события.

В современной литературе риск рассматривается и через призму восприятия и понимания человека. В XX веке свой вклад в рискологию, наконец, внесли психологи Э. Тверски и Д. Канеман, в трудах которых впервые на основании поведенческих мотиваций в условиях риска и неопределенности разработаны правила создания *событийных* ситуаций, связанных с потенциальными рисками [34].

Получила признание теория перспектив, теория рациональных решений, как основа для учета субъективных поведенческих функций отдельных субъектов деятельности, связанной с рисками. При этом не терялось смысловое значение термина «риск», связанное с понятиями «угроза», «опасность». Риск для человека

продолжает пониматься как потенциальная угроза его благополучию или физической безопасности, но уже с вполне понимаемым субъективным смыслом, вариантами развития сценариев *событий*. В частности, семантика термина «идти на риск» подразумевает, что субъект осознанно соглашается с той последовательностью *событий*, в результате которых может быть получен негативный результат. Происходит это совершенно без учета вероятности наступления этого *события*, по факту. Поэтому, риск, как угроза для человека, продолжает носить смысл потенциальности, переходящей в реальное *событие* в определенном временном интервале — из предполагаемого в настоящее. Поэтому риск становится понимаемым не только в зависимости от многообразия внешних условий, но прежде всего, как временная функция от результатов деятельности человека.

Интересные взгляды на рискологию, иногда связывают с именами Э. Гидденса, Р. Лумана, У. Бека [35, 36]. В их основе лежат многофакторные инструменты в виде механизмов зарождения и развития рисков, способов минимизации и устранения опасностей и их последствий. Существуют работы, ориентированные на раскрытие сути так называемого «общества рисков», понимание его дуальности, как единения взаимно противоположных эффектов, смыслового двунаполнения как негативным, так и позитивным результатами. Но и это еще не истина.

Например, риск, как *группа событий*, как сценарий, более характерен для управления промышленной или экологической безопасностью, связанной с разработкой и управлением сложными системами типа «экономика — экология» «благополучие — благосостояние». Риск в управлении финансами — это понимание выигрыша — проигрыша, как взаимной альтернативы, основанной на теории графов, деревьях событий и отказов.

Сегодня в науке есть понимание того, что общей теории рисков, учитывающей как объективные, так и субъективные особенности его существования в самых различных областях человеческой деятельности, пока не существует. В целом определение риска в литературе обусловлено, как правило, узкой спецификой деятельности, сферой притязания, к которой при-

лагается это явление. Даже единого и универсального определения риска пока не существует. Все известные формулировки обладают некоторым недостатком — они имеют прикладное значение, применительно к определенным сферам деятельности и отражают особенности этих сфер. Обозначим только некоторые из таких признаков, получивших обозначение в научной и прикладной среде.

1. **Риск** — это многосложное понятие, сущность которого не сводится только к количественным характеристикам, таким как вероятность и ущерб.

2. **Риск и неопределенность** — это весьма близкие, но не идентичные понятия, так как, во-первых, содержание риска сложнее (неопределенность — это одна из характеристик риска), и, во-вторых, неопределенность не всегда ведет к негативным последствиям.

3. **Измеряемость риска** не является его обязательным атрибутом.

4. Под **риском** может пониматься не только внешнее случайно возникающее *событие*, так или иначе затрагивающее субъекта в негативном плане, но и возможные неверные действия самого субъекта.

5. **Риск** всегда субъективен, так как воспринимается в качестве такового конкретным субъектом в конкретном контексте; ситуация риска без включенного в нее субъекта не имеет смысла, поскольку вред, наносимый риском, только тогда может быть назван вредом, когда он затрагивает либо объект, в котором данное лицо имеет интерес, либо интересы и выгоды самого лица.

6. **Риск** — это не отдельное непредсказуемое событие, а сценарий (цепочка) событий; для правильной идентификации риска необходимо выявлять иницирующие события.

Подобные интерпретации самого термина «риск» дают возможности для его более широкой и универсальной интерпретации. Для этого следует выполнить две вещи:

— определиться с ключевым объектным понятием, сопровождающим термин «риск» в самых различных областях деятельности человека;

– определить универсальные связи этого понятия с параметрами внешнего воздействия на него, вне зависимости от предмета приложения термина «риск».

1.3. Адаптивные методы оценки риска в системе обеспечения безопасности развития человека

В данной работе в качестве ключевого объектного понятия, сопровождающего термин «риск», предлагается рассматривать «событие», как действие, дающее определенный запрограммированный результат. И «событие», как способ измеряемости «риска», альтернативной существующим вероятностно-статистическим методам оценки. И возможные «события», как способ прогнозирования потенциальных рисков. С последующими их профилактиками.

Методы количественной оценки рисков определяют области их применения в зависимости от имеющихся статистических данных и возможности построения теоретических моделей (рис. 1.4).



Рис. 1.4 — Принятые методы количественной оценки рисков
и области их применения

Измеримость риска, в упрощенном варианте, чаще всего связывают с понятием процента отрицательного исхода или неблагоприятных событий к общему их количеству, с отношением среднеквадратичного отклонения $\sigma(x)$ от статистической величины x_i к среднеарифметическому значению $\bar{X}$ параметра x_i : $R = \sigma(x) / \bar{X}$. Наиболее очевидной проблемой такого метода является его постфактумность. То есть такой показатель может состояться только в том случае, если накоплен некоторый множественный результат подобных событий за некоторый промежуток времени в прошлом.

Риск с позиций теории вероятности — это статистическая величина, которая говорит о том, что опасность существует и никуда не девается. С некоторой допустимостью она наступает вне зависимости от желания человека. Но даже такое определение предмета не является объективным. Потому, что понятие риска в самых различных областях человеческой деятельности связано с множеством показателей (время — один из них и не только), которые либо вообще не учитываются в смысловом аспекте, либо учитываются далеко не в полной мере, что делает подбор таких показателей весьма проблематичным

В вероятностном изложении риск, также, как, собственно, и понятие вероятности, — это отношение числа избранного к числу общему. Такая формулировка четко присоединяет понятие риска к понятию вероятности, чем сразу же сужает область применения термина, обедняет его смысловое значение. При этом теряются многие свойства понятия «риск», в том числе, обобщающие, которые делают этот термин менее востребованным в самых разных областях человеческой деятельности. Это ни в коей мере не умаляет возможностей для вероятностных оценок риска, но только, как одного из возможных способов его формализации, причем, далеко не самого удачного.

Еще в 1969 году академик А. Н. Колмогоров, позиционируя место теории вероятности в науке, подчеркивал характер ее оценочности, возможности применения там, где, чаще всего, другие научные методы отсутствуют либо еще не разработаны. Там обобщаемые вероятностные показатели могут выступать

в качестве предварительных, которые нельзя принимать за точные данные, что делает затруднительным использование для серьезных научных выводов и результатов. За последние годы эта область знаний получила существенное развитие, например, в информационной безопасности [32, 37–41]. Тем не менее, ее роль в теории рисков остается проблематичной и оспариваемой. В особенности при сопоставлении количественных и качественных методов оценки относительно такого показателя, как риск.

В методологии рисков, как дань неопределенности, присутствуют различные аспекты теории вероятностей, прежде всего, для количественных оценок в статистическом учете, в системах ранжирования рисков, которые призваны подчеркивать нечеткость и сингулярность процессов рискообразования [42]. В их основе лежат модели распределения Гаусса, Бернулли, преобразования Фурье, Парето, позднее, в том числе, и для этих целей, были применены Марковские цепи, процессы Леви, Байесовские сети [43, 44] и др. позволяющие оценить риски с позиций их динамичности, управляемости, как равноправного динамического процесса в самых различных системах. Вероятностные методы, в той или иной мере, основаны на сборе постфактумной статистической информации о проявляемых в системе негативных событиях, и на их основании рассчитывается возможность их повторного проявления. Методы графопостроительные, деревья целей являются расширением статистических методов, поскольку для их реализации используется статистический материал. Как показатель со свойствами неопределенности, риск соотносится и с элементами теории хаоса, в частности, с бифуркационным поведением систем [45] (рис. 1.5).

Понятие риска как вероятности события в частотном смысле содержит понимание того, как часто это событие происходит. Если мы говорим о вероятности в игровом смысле, когда выпадает то или иное число, то вероятность события, как уже упоминалось выше, сопряжена с термином «шанс». Шанс выиграть или шанс проиграть. Риск проиграть всегда корреспондируется с шансом на проигрыш, как сопоставимые понятия. «Риск выигрыша», как

лингвистическое построение, чаще всего не рассматривается. Скорее это «шанс», но не риск. Такую вероятность еще называют безусловной, то есть не зависящей от любых дополнительных условий. В классическом варианте, если безусловная вероятность события a составляет 0,75, это означает, что это событие может произойти к событию $\bar{a}$, в соотношении 3:1. То есть, на три события a произойдет одно событие $\bar{a}$.



Рисунок 1.5 — Поведение объекта в пределах его бифуркационного состояния (до и после)

В других системах безопасности, например, в промышленных системах, риск, как вероятность события, чаще всего, лишается частотного определения, потому, что, например, частота аварийных событий — это весьма дорогостоящее для человека и критичное для его здоровья и даже жизни явление, и от него уходят в меры профилактики, а постфактумная статистика лишь подчеркивает некоторые некоррелированные долгосрочные прогнозы относительно профилактики обозначаемого риска. Чаще всего пользуются такими долгосрочными статистическими данными, объективный характер которых в долгосрочной перспективе может существенно меняться в зависимости от развития производства и технологий, изменения взаимоотношений между людьми, изменениями в социальном и правовом их статусе и др.

Определенный интерес для нас представляет условная вероятность, означающая вероятность события, которое может произойти, если с определенной вероятностью ранее уже

произошло другое причинно-следственно взаимосвязанное событие. Иными словами, событие a с известной вероятностью произойдет при условии, что некоторое взаимосвязанное с ним событие b уже произошло. Событие b , в данном случае, является некоторой калибровочной поправкой к основной вероятности события a .

Обозначается условная вероятность, как вероятность совместного события ab двуедино, как:

$$P(ab) = P(a|b)P(b) = P(b|a)P(a). \quad (1.1)$$

Откуда:

$$P(a|b) = P(a) \cdot [(P(b|a)) / P(b)] = \mu \cdot P(a). \quad (1.2)$$

Вероятность некоторого условного события a при условии соблюдения b равна безусловной вероятности события a , умноженного на калибровочный коэффициент μ , равный соотношению условной вероятности события b при условии события a к вероятности события b . То есть:

$$\mu = (P(b|a)) / (P(b)). \quad (1.3)$$

Это типичная формула из теоремы Байеса, которой пользуются в качестве определителя вероятности на поправку к ранее известным взаимозависимым вероятностным условиям. Такими условиями могут быть ошибочные данные в исследованиях, предварительные условия, без которых невозможно определение вероятности основного события и др. Правило: «условие-на-условие», «пересечение причинно-следственных связей», порождающих нежелательные события, дает больше необходимой информации для количественного анализа и целевой профилактики рисков.

Мы подчеркнем, что такой метод может иметь преимущества, если рассматривать риски, как производную от нескольких взаимосвязанных событий в их причинно-следственных отношениях. Об этом будет показано ниже.

Прямые же вероятностные методы оценки риска по своей эффективности ожидают желать лучшего и всегда вызывают

множество критических замечаний. Действительно, вероятность риска в самых различных интерпретациях, как показатель, не выдерживает конструктивной критики в плане его достоверности. Например, если мы говорим о том, что риск получить нежелательный результат составляет 0,3 — это означает, что из 10 возможных сценариев развития событий на протяжении определенного периода времени, три дадут нежелательный результат (аварию, травму, ущерб и т. д.). И только. *Но то, когда во временном интервале состоятся эти три рискованных события или хотя бы одно из них, этот показатель информации не дает.* Возможно, что результат будет получен в первом же наступившем случае из десяти, и это означает, что реальная вероятность мгновенно увеличится с 0,3 до 1,0, что не может являться достоверно обоснованным показателем для прогнозирования результата.

В количественных показателях риск проще оценивать однозначно по шкале «да-нет» или «1;0», понимая под «1» существование факта рискованного события и под «0» отсутствие условий для рискованного события. Такие методики существуют и вполне себя оправдывают, как с точки зрения достоверности, так и с позиций эффективности оценки [46], подчеркивая дихотомичность этого термина.

Определенный интерес к количественным формам оценки рисков проявляется риск-менеджерами в случае процедур организации и управления рисками в компании. Основные этапы такой работы связаны с последовательным *планированием управлением рисками, их идентификацией, качественным и количественным анализом причинных связей, приводящих к риску, планированием реагирования на риск, и контролем над рисками.* Причем, чем глубже во времени реализуется проект, тем выше возможности наступления рискованных событий. На этапах количественного анализа существует необходимость в количественных оценках. Однако, все меньше исследований относятся к вероятностным и статистическим методам количественной оценки риска в пользу более актуальных показателей, понятных для экономического бизнеса.

Наравне с такими показателями, как угроза рисковогó события, уязвимость объекта к опасности, наиболее объективной количественной характеристикой риска может быть только величина реального или потенциального ущерба, наносимого в результате возможного или уже состоявшегося события. Такой ущерб измеряется в показателях материальных или экономических потерь, травматизма или заболевания, ущерба, нанесенного природе и др. Например, оценка риска от функционала вероятности возможных ущербов может выполняться при помощи расчета значений функции плотности вероятности ущерба $\varphi(u)$, как $F(u) = \varphi u(u)$. Для этого необходимы данные о статистической закономерности распределения $\varphi(u)$, что представляет определенную трудность при прогнозировании, так как зависит от объема и точности накопленной ранее статистической информации, в том числе, о состоянии внешней и внутренней среды.

Методы расчета ущерба от опасностей, применительно к информационным и финансовым рискам систематизированы в работе [46], на которую можно сослаться и привести в таблице 1.3 в качестве обобщающих данных, и не только для информационных систем.

Следует отметить, что подобные методы, основанные, как правило, на данных статистических или экспертных исследований, применимы для оценки факторов риска, но не собственно событий, приводящих к рискообразованию, что показано в работе [47]. Экспертные методы количественной оценки риска призваны учитывать максимальное количество факторов, способствующих рискообразованию, в том числе, статистические.

В качестве профилактических инструментов, весьма несовершенная теория рискообразования все более соприкасается с теорией принятия решений [48], в частности, при принятии стоимостных предложений, в инвестиционных операциях, там, где риск, как последовательность событий получения отрицательного результата, может быть сопряжен с полным разрушением системы, либо в производственной деятельности, когда риск является следствием последовательной цепочки событий, приводящих к аварийному состоянию системы.

Таблица 1.3 — Методы оценки соотношения опасностей и возможного ущерба
(по данным работы [46])

Методы	Смысл и оценка недостатков
ALE, ROI, IRR	см. ниже
Корректирование дисконтной ставки	см. ниже
Метод коэффициентов достоверности	Парад событий, как правило, происходит в условиях неопределенности входных данных, окружающей среды. Основной недостаток заключается в необходимости наличия точных значений, что затрудняет применение статистических подходов
Анализ чувствительности	Метод основан на изменении дисконтной ставки. Преимущество данного способа заключается в легкости вычислений. Но рискованная компенсация никак не зависит от значения уровня риска, что позволяет использовать только в качестве вспомогательного метода
Анализ сценариев развития событий	Метод основан на сопоставлении основного событийного сценария с величинами весовой значимости показателей при предельных сценариях развития событий. Основной недостаток заключается в субъективном выборе сценариев, при ограниченном их количестве
Построение ориентированного графа принятия решений	Метод, как вспомогательный, дополняет анализ событий, если существует иерархическая причинно-следственная связь между событиями. Недостаток метода также заключается в субъективном выборе сценариев, при ограниченном их количестве, когда разветвленность графа затрудняет выбор лучшего сценария

Окончание табл. 1.3

Методы	Смысл и оценка недостатков
Критерий Вальда	Метод практически не учитывает варианты событий и ориентирован только на интересующую уже имеющихся данных. Многие значимые события при анализе теряются либо отвергаются, что снижает достоверность результата
Критерий Сэвиджа	Метод применим только в том случае, если существует субъективная уверенность в том, что случайные и другие малозначимые события не могут повлиять на конечный сценарий. В методике возможен фактор дополнительного риска, связанного с этим допущением, что не делает результат более достоверным
Критерий Гурвица	Вариант применения теории игр в процедурах определения рисков. Направлен на сравнительный анализ различных. В том числе, диаметрально противоположных вариантов. Недостаток состоит в субъективности выбора сопоставительных показателей
Метод Монте Карло	Метод является усовершенствованным вариантом анализа значимости некоторых событий и сценариев развития рискообразования и моделирует не отдельные сценарии, а разнообразные стохастические сочетания начальных характеристик. При этом, законы вероятностного распределения и взаимосвязи между событийными характеристиками выбираются экспертно, что добавляет в методику субъективизма

Представляет интерес ряд работ, например, [49, 50], в которых авторы предлагают рассматривать риск, как факт принятия решения в условиях неопределенности, в виде междисциплинарного понятия с позиций детерминированной направленности, характера действий и неопределенности в достижении целей, ожидаемых субъектом. Мы хотим обратить внимание на такие параметры данного определения, как вектор временной однонаправленности, целевую неопределенность действий или событий, связанных, в том числе, с недостатком информации и высокой энтропийностью, и временное ожидание этого действия или события. Даже такой минимальный набор параметров свидетельствует о том, что оценка риска, только как вероятностной характеристики, является весьма поверхностной и не отвечающей современным требованиям со стороны общества к такому всеобъемлющему понятию, как риск. И напротив, их учет в понимании и оценках риска ставит это понятие в ряд наиболее актуальных для человека жизненных параметров, при условии способности им управлять: и с позиций принятия решений, и с позиций становления личностных свойств человека и его социализации, и с позиций осознанного влияния на подобные события и т. д.

Такие вопросы постоянно, так или иначе, обсуждаются в научной печати и информационных сетях, но идеального конечного результата пока не имеется.

В настоящее время механизм анализа рисков, который осуществляется экспертными методами, основан на трех «средствах» оценки: *аналогия, интуиция и абстрагирование*. Зачастую даже сам эксперт не может объяснить, как именно им была найдена оценка или сформирован кейс решений проблем в исследуемой среде. В лучшем случае он может лишь описать основные приемы или эвристику, которые помогли эксперту найти эффективное решение проблемы. Следует так же подчеркнуть и *интуитивные подходы*, которые могут быть причислены к средствам экспертной оценки.

В экономических приложениях к этим работам особое положение занимает теория полезности Д. Неймана и О. Моргенштерна [6] только потому, что уже в XX веке она обоснованно подтвердила тезисы Д. Бернулли из XVIII века об особенностях

оценки риска в зависимости от его индивидуального восприятия каждым человеком по-своему. Теория полезности в условиях риска основана на минимизации функционала «благо-риск» в виде $R = \sum_{i=1}^l P_i E(x_i)$ (здесь x_i — некоторый i -й результат, $E(x_i)$ — полезность этого результата, P_i — суммарный единичный функционал за счет минимизации риска и, соответственно, за счет минимизации блага. Другой вариант связан с максимизацией блага при условии максимального риска. В основе методологии все-таки стояли субъективные восприятия самого человека. И в дальнейшем это направление получало развитие в работах М. Фридмена и Л. Сэвиджа как теория отношений к риску, предполагающая в рамках традиционной теории выбора Неймана — Моргенштейна, реализовать идею выбора в рамках альтернатив, предполагающих наличие риска [51].

Подобные теории в рамках принятия решений предполагают использование переходных процессов в отношении предпочтений между различными группами людей, в качестве альтернативных, и имеют отношение к поведенческим функциям человека в условиях некоторых заданных событий.

Современные концепции методологий «оценки рисков», в том числе, экспертные и управляющие подходы, основаны на создании «консультирующих систем», аккумулирующих лучший опыт и знания экспертов в каждой, конкретной области.

Функционал данных систем направлен на решение неформализованных или слабо формализованных задач, например, таких, как оценка события, диагностика, планирование, и т.д. Эти задачи характеризуются прежде всего неполнотой, неоднозначностью, а часто и ошибочностью входных данных или их отсутствием. В отличие от современных систем искусственного интеллекта, построенных на принципах нейронных сетей, инновационные механизмы анализа рисков, формируют «прозрачные алгоритмы» решений поставленных задач. К таким системам, можно отнести, например, систему *НАССР* (расшифровка: *НАССР* — Hazard Analysis and Critical Control Point, *пер. с англ.: Анализ Опасностей и Критических Контрольных Точек*). Она основывается на 7 основных принципах *НАССР*, являющихся фундаментом

для разработки системы контроля за качеством и безопасностью процессов и продукции, и содержит как аналитические и регуляторные, так и простые управляющие решения.

План *НАССР* от лица, принимающего решение, еще не гарантирует отсутствие проблем. Поэтому одной из важных составных частей плана *НАССР* является планирование комплексных мероприятий, направленных на устранение возможных событийных отклонений. Именно для потенциально экстренных вариантов разрабатывается план действий, в котором выявляется причина отклонений и определяется порядок нейтрализации потенциально опасных событий.

Эта модель наглядно показывает, что современное общество уже не удовлетворяется чисто вероятностными методами оценки рискового многообразия, готова к восприятию менее достоверных, но более доступных и наглядных экспертных методов, и требует пересмотра не только методов оценки риска, но и подходов к самому понятию «риск», выводя его из узких внутриотраслевых и даже межотраслевых рамок к формализованному научному обобщению.

Следует заметить, что в основе такого подхода лежит понятие рискового события. Собственно анализу подлежат те события, сценарий которых имеет вариации к опасности в конкретной ситуации.

По-особенному устроен человеческий мозг. Он может абстрактно предполагать в будущей перспективе для себя некоторые события, по аналогии с тем, какими они были ранее, из собственного опыта, или существовали в сознании, как знания, полученные иным путем (устным способом, почерпнутые из книг, других источников информации). События имеют обычность к повторению, но в других условиях и в иных вариациях. Их сценарии могут иметь различия, в зависимости от внешних условий, но структура их одинаковая. Внешние условия, в том числе и предполагаемые, тоже могут являться производной от некоторых сопроводительных событий. Таким образом, человеческий мозг способен анализировать еще не происшедшие в системе возможные события, направленные в будущее. Обозначим такую систему состоящей из одного корневого события, которое инте-

ресует человека, и группы сопровождающих событий, которые составляют внешние условия для конкретного времени в будущем.

Применительно к предмету наших исследований, риску, корневое событие — это то событие, ради которого человек размышляет в данный момент и которое может произойти в некотором будущем, в частности, как способное принести опасность. Вспомогательное событие — это то событие, которое, посредством изменения состояния внешней среды, либо усиливает, либо нейтрализует корневое событие при приближении его из будущего времени в настоящее. Безусловно, что каждое вспомогательное событие может, в свою очередь, зависеть от других таких же вспомогательных событий, которые оказывают на него свое влияние, создавая таким образом прототип диаграммы Исикавы.

При приближении этого предполагаемого времени к настоящему моменту такая система событий и каждое из них или становятся реальностью, или не состоятся вследствие их несогласованности для достижения некоторого конкретного результата. Такой анализ осуществляется постоянно, как мозговая деятельность человека. Этот процесс называется *предположением некоторого события в будущем*, если для этого будут необходимые условия, то есть начнут происходить некоторые сопровождающие события, которые по некоторым внешним сигналам будут давать информацию о том, что корневое событие все-таки состоится. В состоянии мозговой деятельности это весьма корреспондируется с технологиями минимально инвазивной или неинвазивной регистрации активности нервных клеток человека, например, [52–55]. В этом может состоять внешнее впечатление о работе мозга в требуемой для нас интерпретации.

Мы не будем рассматривать здесь работу человеческого мозга, роль нейронов и центров сознания в мозге человека, оставим это другим. Тем более, что эта часть науки пока строится больше на предположениях, чем на научных результатах. И компьютерную модель нейрона, описываемую в литературе, как аналитический механизм, мы не будем в данной работе отождествлять с деятельностью головного мозга. Такая модель является всего лишь моделью работы нейрона — основы человеческого мозга,

обеспечивающего его мыслительные процессы. В работах [49, 53–60] тем не менее показано, что все-таки нейрон человеческого мозга работает по принципу бинарного отображения, то есть отвечает на вопрос: «да или нет», «согласовано — не согласовано» и т. д. Модели нейрона или нейронной сети достаточно широко применяются в искусственном интеллекте, в системах прогнозирования, в поведенческих моделях, в информационных системах [53, 58–61]. Последовательность ответов «да-нет», включающая логику изложения, в первом приближении формирует нейро-мыслительные процессы в организме человека, которые отвечают за его поведение, эмоции, образ мышления и др.

Применительно к распознаванию рисков, предположению опасных и вредных событий, их прогнозированию и профилактике, такие механизмы являются органичными как для мозга человека, так и для форм его поведения. Соответственно, подобные модели наиболее близко подходят к описанию событийных рисков и их практическому применению.

Здесь вступает в «игру» именно тот неуловимо малый временной интервал между будущим и настоящим временами, который интересует нас как «сумматор», итог всего предшествующего событийного анализа. В такой промежуток времени в человеческом мозге происходят мгновенные процессы согласования или рассогласования событий, объединения или разъединения образов, логических процессов отрицания и утверждения и т. д. В результате мозг в кратчайший период времени перед событием может подготовить организм к реакции на него.

Мы предлагаем растянуть этот неуловимо малый временной отрезок на большее время и использовать его для прогнозирования результата. Это является залогом возможностей не только для прогнозирования, но и для профилактики возможных событий, которые потенциально рассматриваются как риск появления некоторой опасности. То есть предполагается решение основной задачи: *предотвращение риска, недопущение перехода потенциального риска в реальный*. Но это будет уже иной способ достижения цели и иные механизмы его реализации, несовместимые с вероятностно-статистическими методами поставарийного анализа.

1.4. Проблематика существующих методов оценки рисков и новые задачи для современных рискообразующих систем

Резюмируя изложенное, в общепринятом понимании риски, как величину, можно оценивать в количественном эквиваленте, следующими показателями:

- вероятность риска, получаемая на основании статистических данных, как традиционная характеристика риска;
- условная вероятность рисковогo события, как величина, зависящая от вероятности уже произошедшего и взаимосвязанного с ним причинно-следственного события;
- экспертные оценки риска, получаемые путем обработки экспертных баллов и статистических данных результатов экспертизы;
- экономические показатели риска для предприятий, финансовых и экономических систем различного уровня, получаемые, как эмпирические зависимости от факторов, оказывающих влияние на надежность системы;
- информационные показатели риска, отражающие возможности информационных потоков наносить вред человеку или связанным с ним техническим системам;
- показатель (интервал) времени от предполагаемого события, связанного с риском, до времени настоящего.

Последний показатель, по нашему мнению, является наиболее информативным по сравнению с другими, показателями, потому что он дает информацию о прогнозируемом событии, показывает ресурс времени, который имеется у субъекта для подготовки к событию.

Существует некоторое количество способов оценки производственного риска и опасности травм и летальных исходов на производствах, которые также основаны на теории вероятности и статистических методах, но они учитывают степень тяжести учетных результатов реализации опасности, посредством эмпирических коэффициентов (табл. 1.4). И основаны на постфактумной статистике.

Таблица 1.4 — Способы оценки риска
для производственных систем

№ п/п	Наименование показателя риска	Обозначение и формула	Примечание
1	Вероятность риска	$R = n(t)/N(t)$	Статистическая вероятность
2	Условная вероятность риска	$P(a b) = P(a) \cdot [P(b a)/P(b)]$	Статистическая вероятность
3	Интервал времени до наступления событийного риска	$\Delta T = \tau_n - \tau_i^*$, где τ_n — настоящее время; τ_i^* — время предстоящего события	Сценарий прогнозируемого события; ресурс времени до рискообразующего события
4	Экспертная оценка риска	Ранжированные балы экспертов	Статистическая вероятность
5	Экономические показатели риска	$M(x) = \sum_{i=1}^N x_i p_i$	Статистические и вероятностные показатели

В экономических системах для определения рисков существует достаточно размытая шкала конечных ценностей, показывающих, с чем следует отождествлять опасности и потери от рисков. Это могут быть опасности, влияющие, например, на цели, сроки реализации, бюджет и качество реализации проекта. Это могут быть требования к бизнес-проектам и возможности вложения средств на те или иные составляющие проекта, риски сбора неполных данных и появление скрытых опасностей для бизнес-проекта, подбор малоэффективных инструментариев для управления проектами, влияние внешних неучтенных факторов. Все эти риски из потенциальных становятся реальными после того, как они превращаются в событийную проблему, отрицательно влияющую на бизнес. Вообще причин, связанных с рисками, в бизнес-сфере огромное количество, и чаще всего рискологи начинают свой риск-анализ в этих системах с перечня наиболее

известных либо типичных событий, приводящих к появлению реального риска в системе.

Всего только наиболее признанных программных продуктов в области прикладной рискологии существует несколько десятков, таких как *Qualys*, *Predict360 no 360factors*, *CURA*, *Synergi Life* и другие. Наиболее популярный программный продукт для специфических проблем оценки риска в экономике и бизнесе — это проекты:

- *nTask* — полноценный инструмент для управления проектами, в котором минимизация рисков осуществляется в комплексе других задач управления;

- проект *Resolver*, который однозначно ориентирован на планирование, выявление и подготовку рисков и других систем безопасности для компании; комплексный проект *TimeCamp*, направленный не только на определение финансовых рисков, но и управление рисками времени;

- *ИНТЕГРУМ* — специфический проект управления рисками, в основе которого безопасность организации производства, охрана труда, включая автоматизацию расследования и ведение документооборота в данной области.

Большинство из таких проектов имеют общие корни, состоящие в возможностях для быстрого реагирования на варианты событий, которые прогнозируются на основании экспертных оценок, статистики прошлого опыта и вариантов количественных оценок самого различного уровня. Такой масштаб употребляемого продукта прикладного характера еще раз показывает на отсутствие надежной базы для понятийного сегмента в области рискологии и в самых различных искусственных системах.

Специфической оказывается и шкала ущерба от реализации рисков в экономических системах. Это ущерб от потери денег, от потери качества продукции, что также измеряется финансовыми потерями, потери рынков сбыта и сырья, ущерба от человеческого фактора. Но и они измеряются в бизнес-системах при помощи денег. Поэтому, обобщая, можно показать, что ущерб от реализации рисков в бизнес-системах определяется, главным образом, финансовыми потерями. При этом отдельные

отклонения в сторону других показателей могут быть, но они незначительны.

Те же правила появления рисков встречаются и в банковской сфере, и информационных системах. Поиски рисков в этих случаях являются аналогичными описанным и считаются удобоваримыми.

В качестве примера рассмотрим риски, связанные с хождением криптовалюты, одного из наиболее интересных проектов в сфере финансового бизнеса.

За последние годы широта охвата современного финансового рынка цифровыми активами поражает. 14% американцев, так или иначе, связывают свои денежные активы с криптовалютой. Риски при операциях с криптовалютой становятся все более актуальными во всем мире. Абсолютное большинство стран лишено четкого законодательства относительно легитимности криптовалют, а многие, например Китай, Индонезия, Марокко, Пакистан, прямо запрещают любые текущие операции с цифровыми активами из-за невозможности регулирования, из-за угроз для макроэкономики. Мусульманский мир не приемлет криптовалюту из-за ее спекулятивной составляющей и отсутствия внутренней ценности для этой валюты.

Но это не останавливает массовости цифровизации мирового финансового рынка. Активными деятелями на рынках цифровых валют являются компании с рентабельностью в 200% (MicroStrategy, Square, Tesla и др.). Один из крупнейших современных банков США «Goldman Sachs» впервые и очень осторожно создал отдел по работе с цифровыми активами. Который, впрочем, дает банку стабильную ежегодную прибыль более, чем в 100%, что вообще в банковской среде сопоставимо со случаями валютных махинаций. Общую тенденцию уже поддержал JPMorgan bank. Впереди курс на развитие цифровых валют, которые, так или иначе, пробивают себе дорогу на финансовых рынках мира.

Следом за развитием криптовалютного рынка развивается сфера криминальных функций, которые в мире финансового права не имеют возможностей на существование и преследуются законами большинства государств. Например, расследованиям со стороны властей США подлежала деятельность криптобиржи

Binance в области налоговых обязательств. В частности, речь шла о нелицензионной торговле тем, что называется криптодеривативами, то есть соглашениями на будущую цену криптовалюты и торговле правами на исполнение таких договоров.

Деривативы также относятся к инструментам для снижения рисков на волатильных операциях. Например, если продавец опасается, что валюта подешевеет до 3 тыс. долларов на следующей неделе, он может заключить предварительный договор с покупателем о продаже ему валюты, когда цена опустится до 3,5 тыс. долларов, снижая тем самым собственный риск от возможных колебаний цены. Такие соглашения сами по себе являются предметом купли-продажи, когда, например, другой покупатель захочет купить валюту по 3,5 тыс. долларов, он может перекупить дериватив у первого покупателя.

Криптовалюта хороша для накопления и хранения денег, с минимальными рисками для потерь. Интерес к криптовалюте поддерживается прессой, отдельными авторитетными лицами, мнение которых способствует то взлету цены на один биткоин, то его падению сразу на десятки процентов

На наш взгляд, три главных риска для инвестора при работе с криптовалютой:

— высокая *волатильность*, как главное качество криптовалютного рынка. Изменчивость цены на криптовалюту является пока главным качеством. Традиционное качество любого финансового рынка — волатильность, определяемая как один из главных показателей в управлении финансовыми рисками. Колебания цены криптовалюты приводят к почти мгновенным изменениям котировки этих активов. «Инвесторам, опасаящимся волатильности, рекомендуется избегать торговых операций (трейдингов) на рынке криптовалют. С другой стороны, волатильность на любой бирже — это показатель, дающий возможность заработать на разнице курсов. Тех, кто хочет избежать колебания курса, следует отсылать к спотовому рынку, где соблюдается одновременность сроков заключения сделки и вхождения в право собственности, но не к маржинальному, на котором стабильных покупателей ожидают потери.

– в процессе трейдинга криптовалюта хранится на общей площадке распределенного реестра и *недоступна* пользователю до тех пор, пока не окажется в его персональном электронном кошельке. Но, будучи в электронном кошельке, криптовалюта выходит из зоны совместного оперативного контроля в распределенных реестрах. Хранение криптовалюты возможно на своем рабочем компьютере, либо на отдельном системном блоке, который редко включается и тем самым защищен от хакерского взлома. Риск заключается в альтернативе: оперативная валюта недоступна пользователю, но участвует в трейдинге. Накопительная валюта защищена более надежно, но не является предметом трейдинга и не приносит прибыли владельцу.

– *ошибки при отправке средств* в системе блокчейна. Ошибка в адресации направления криптовалюты исключает возврат валюты. Она безвозвратно сгорает. В децентрализованной системе блокчейна не существует единого управляющего субъекта, который мог бы связываться одновременно с любым пользователем системы, например, для отмены транзакции.

Подобных систем, в которых существуют опасности риска для человека, великое множество. В плане рискообразования их отличает прежде всего отсутствие общепринятого методологического подхода, неопределенность в количественных показателях, их многообразие и несопоставимость в прикладном характере, отсутствие понятийного уровня для собственно термина «риск», понятного и удобоваримого для всех социотехнических и других систем, общепринятого и конечного понимания логики, связанной с универсальностью этого термина и его ролью для современного общества.

Мы рассмотрели далеко не все ситуации, связанные с обсуждаемым предметом — риском. Но уже только перечень данных о формах и способах проявления опасностей и рисков в таких и многих других системах, с учетом их разброса, указывает на несовершенство существующих методик оценки риска. И на отсутствие установившегося понимания природы этого феномена в самых различных прикладных областях.

Таким образом, подчеркивая значимость понятия «риск» для современной социотехнической системы, мы обозначаем растущую неудовлетворенность существующими способами оценки этого понятия, его смысловым наполнением, явно не отвечающим современным состояниям развития таких систем и их значимостью для современного мира. Существует необходимость расширения методологической базы для понимания смысла для понятия «риск», методов его прогнозирования и профилактики, предупреждения его возникновения и развития в самых разных областях человеческой деятельности. Даже несмотря на то, что сегодня этому крайне важному параметру в системе человеческих ценностей на протяжении многих веков не дается однозначного и общепринятого толкования.

ГЛАВА 2

РИСК, КАК ВРЕМЕННАЯ ПАРАДИГМА

Общепринятое аналитическое определение риска связано с соотношением числа неблагоприятных (рисковых) событий (n) к общему числу событий (N) в некотором временном интервале $(0, T)$

$$R = n(t)/N(t) \quad (2.1)$$

Вероятностные методы оценки риска уже давно применяются в виде стандартной технологии, весьма простой в употреблении и очевидной для понимания. Хотя, аргументы, выдвинутые в первой главе данной работы, наглядно показывают далекую от кажущейся эффективности таких оценок. Кроме того, далеко не всегда в аналитических исследованиях обращается внимание на временной фактор, который в общей формуле в чистом виде не фигурирует. На первый взгляд, решение задачи управления такими рисками по зависимости (2.1) не представляет затруднений. Покажем, что это не так.

Для пояснения обратимся к традиционной вероятностной характеристике риска — вероятности появления рискового события P_R . Чем больше временной интервал $(0, T)$, в течение которого происходит наблюдение события, тем сильнее возрастает его неопределенность. И наоборот, чем конкретнее промежуток времени, в течение которого может произойти нежелательное событие с заданной вероятностью, тем больше возможностей для его наступления. Поэтому, время в числителе и знаменателе формулы (2.1) имеет вполне определенный, но различный смысл. Если в знаменателе должно отражаться общее событийное время (T), то в числителе — это бесконечно малый интервал времени (dt), в течение которого стечение ряда факторов приводит к нежелательному событию. Этому утверждению может быть дано вполне удобоваримое объяснение, которое будет представлено далее. А пока, в свете показанного, запишем интерпретацию многофакторного уравнения, отражающего изменение риска,

связанного с последовательностью причинно-связанных событий в некотором периоде времени

$$P_R[x_1, \dots, x_i, \dots, x_I, t] = \frac{dn/dt}{N(x_1, \dots, x_i, \dots, x_I, t)/T} = T \frac{dn/dt}{N(x_1, \dots, x_i, \dots, x_I, t)} \quad (2.2)$$

Здесь нам представляется возможность показать, что в вероятностном варианте, в присутствии временной координаты t при управлении рисками мы выходим за пределы простой нелинейности и сталкиваемся с некоторыми свойствами неоднозначности, неопределенности и др. В частности, момент бифуркации, если он может быть доказан, становится в противоречие самой идее рассматривать риск, как однозначно вероятностную категорию.

Тем не менее.

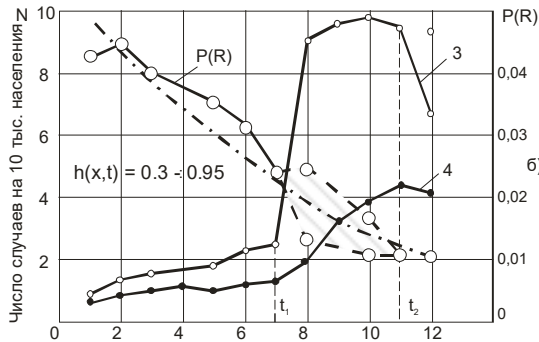
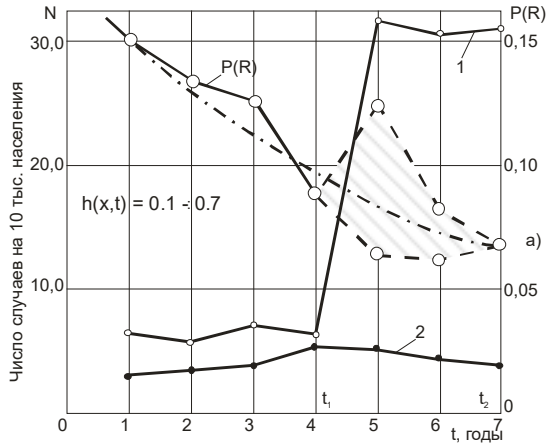
Формула (2.2) с точки зрения управляемости объекта имеет структуру нелинейного инерционного звена дифференциального типа. Уравнение такого объекта имеет следующий общий вид [1]

$$\frac{dn}{dt} = \frac{P_R(x_i, t)}{T} N(x_i, t) + h(x_i, t). \quad (2.3)$$

Здесь величина h учитывает нелинейность правой части уравнения, по Г. Николису, это нелинейность ветвящейся функции. Подтверждением правомочности такого суждения является классификация рисков в терминах управления, показанная в работе В. П. Буянова с соавт. [2], где дается обоснование существованию бифуркационных явлений, возникающих при управлении рисками в сложных системах, но без их привязки к вероятностным категориям.

Скачкообразные изменения параметров, характеризующих явления рискообразования, являются характерными, например, для исследованного нами влияния отходов на заболеваемость населения, патологическую беременность и др. в местах, связанных с хранением таких отходов (рис. 2.1). Чтобы разобраться в том, как реагирует величина $n(t)$ на временные изменения, достаточно рассчитать уравнение (2.2) для условия $x_i = \text{const}$ и $h = 0$.

$$N(x_i, t) = \begin{cases} kt, & t = 0 \div T; \\ k, & t > T; \\ \frac{k}{t}, & t = 0 \div T. \end{cases} \quad (2.4)$$



1 — пос. Каменск; 2 — Приморский р-н г. Мариуполя;
3 — г. Мариуполь; 4 — Донецкая обл. в целом.

Рис. 2.1 — Динамика заболеваний системы кровообращения (а) и проявление аномалий здоровья у новорожденных (б)

Здесь мы имеем дело пока еще со стандартными переходными процессами, в которых принимает косвенное участие показатель риска. Общая ориентация переходного процесса применительно к рискообразованию может иметь направленность как в сторону

статизма явлення, так и в сторону повышения динамичности, включая запердельные состояния, связанные с неопределенными отображениями. Покажем это.

Рассмотрим подробнее следующие зависимости (рис. 2.2):

- 1) $x_i = \varphi(t)$ при условии $P_R = 0$;
- 2) $P_R = g(x_i)$ при условии $t = 0$; и
- 3) $P_R = f(t)$ при условии $x_i = const$.

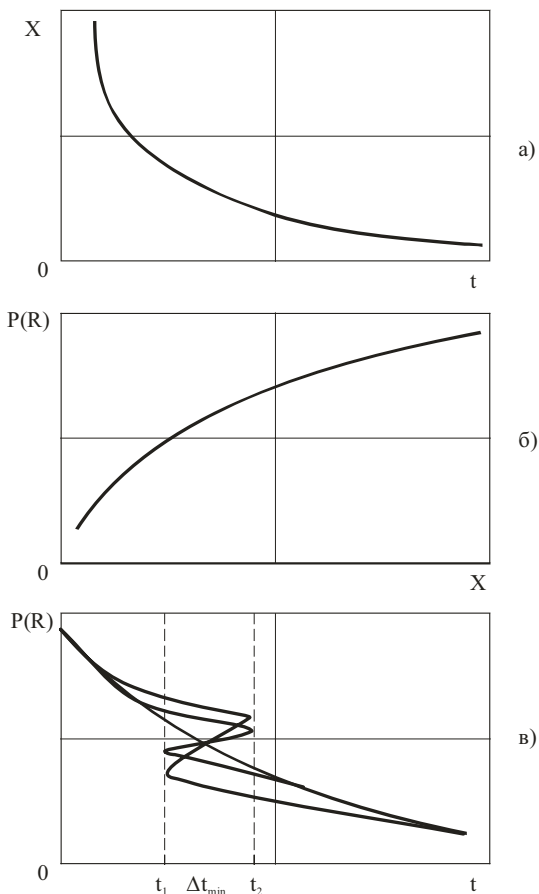


Рис. 2.2 — Общий вид зависимости: а) $x_i(t)$ при $P_R = 0$;
б) $P_R = g(x_i)$ при $t = 0$; в) $P_R(t)$ при $x_i = 0$

Первые две зависимости имеют вид гладких функций. В самом общем виде зависимость $x_i(t)$ при условии $P_R = 0$ как правило носит гиперболический характер. А функция $P_R = g(x_i)$ при $t = 0$ имеет вид функции насыщения. Логика, подкрепленная статистическими выкладками, свидетельствует, что зависимость $P_R(t)$ при $x_i = 0$ может также иметь гиперболический характер (см. рис. 2.2, в). Однако, учитывая сложность и многофакторность рискообразующих систем, можно предположить более сложные переходные процессы. Речь идет о возможных проекциях типа сборки Уитни [3].

В пространстве с координатами (P_R, x_i, t) поверхность сборки Уитни задается формулой $P_R = t^3 + x_i t + h(x_i, t)$ и проектируется на горизонтальную плоскость (x_i, t) , $(P_R = 0)$ в виде ограниченной области (рис. 2.3), разделяемой полукубической параболой с точкой возврата (P_0) . Каждая точка в заштрихованной области является проекцией трех точек поверхности сборки Уитни, каждая точка вне этой области — проекцией одной точки на сборке, а точки, принадлежащие параболе — проекцией двух точек на сборке. При подходе траектории проекции к точке возврата (P_0) проекции всех точек сливаются в одну, представляющую не что иное, как точку начала бифуркационных изменений в системе, описываемых поверхностью сборки Уитни.

Полукубическая парабола и ее точка (P_0) представляют области возврата — неустойчивые состояния системы. Таким образом, устойчивое управление риском может быть осуществимо в некотором временном интервале и только в области, где $0 < x_i < x_{i0}$. Иными словами, если параметр x_i , который определяет вероятность неблагоприятного исхода для человека, длительно присутствующего в зоне расположения промышленных отходов, превышает некоторый критический порог, управлять таким риском в интервале времени Δt_{min} не представляется возможным. Вместо этого мы получаем область явной неустойчивости и связанные с ней явления, которые весьма далеки от физического смысла вероятности.

Можно утверждать, что вне временного интервала Δt_{min} могут находиться как гладкая функция управления риском, так

и другие поверхности управления, например, новые бифуркации типа сборки, т.е. в целом управление риском в области неустойчивости $x_i > x_0$ становится проблематичным. Можно рассмотреть эти условия для понимания, а в первом приближении от того, как зависит вероятностная и неопределяемая составляющие смысла понятия рискообразования.

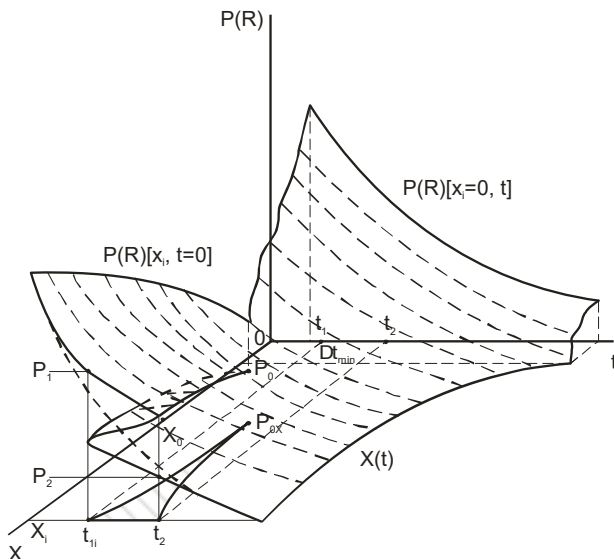


Рис. 2.3 — Вариант общего вида поверхности управления в рискообразовании для системы «человек — промышленный отход»

Энергетическая функция катастрофы сборки Уитни для данного случая описывается следующим уравнением [3]

$$X(t) = t^4 + at^2/2 + bt \quad (2.5)$$

где a и b — переменные управления для поверхности сборки.

С точки зрения динамики системы $X(t) = \min$ отвечает устойчивым равновесным ее состояниям, а $X(t) = \max$ и перегибы функции — отвечают состояниям неустойчивого равновесия. Например, для $(a, b) \in [t \leq t_{1,i} \text{ и } t > t_{2,i}]$ имеется единственно устойчивое равновесное состояние системы, а для $(a, b) \in [t_{1,i} \leq t \leq t_{2,i}]$

имеется два устойчивых равновесных состояния системы и одно — неустойчивое.

Реагируя на это неустойчивое состояние, система либо за счет собственных внутренних ресурсов стремится войти в равновесие, либо должна найти иное, новое для себя параметрическое состояние, в котором возможно сосуществование рискообразующих отходов и ситуаций, при которых $P_R = \min$. Иными словами, рискообразующая система «человек — промышленные отходы», попадая в область $(a, b) \in [t_{1,i} \leq t \leq t_{2,i}]$ (см. рис. 2.3), стремится, как минимум, выйти из нее самостоятельно, т.е. уйти в область устойчивого управления при $x_i < x_0$ или за счет ресурсов надсистемы найти равновесное состояние в области управления $(a, b) \in [t \leq t_{1,i} \text{ и } t > t_{2,i}]$, при $x_i \geq x_0$. Второй вариант является менее предпочтительным, поскольку в этом случае потенциальная функция $X(t)$ имеет не только устойчивый минимум, но и одну точку перегиба — потенциальную область последующего бифуркационного состояния. То есть сосуществование рискообразующих состояний для человека в зоне таких отходов и ситуаций, при которых $P_R = \min$ способно создать еще одну область бифуркации в точке перегиба.

Для выявления условий для бифуркации стационарных решений в первой точке неустойчивости стандартного состояния решению подлежит уравнение

$$\frac{P_R(x_i, t)}{T} N(x_i, t) + h(x_i, t) = 0. \quad (2.6)$$

Решение нелинейного уравнения общего вида представляет в известном смысле сложность, поэтому используем следующие упрощения, относящиеся к ограничению области исследования бифуркации в пределах $\Delta t_{\min}^C = \text{const}$ [4]. При этом предполагается, что новые решения в пределах $\Delta t_{\min}^C$ возникают непрерывно. Это позволяет исключить из расчета точки с ответвлениями от данной области. Если принять бесконечно малый текущий интервал $\Delta t - \Delta t_{\min}^C = \delta$, то разложение в ряд основных параметров уравнения (2.4) имеет вид

$$x_i = \delta \cdot x_{1,i} + \delta^2 \cdot x_{2,i} + \delta^3 \cdot x_{3,i} + \dots \quad (2.7)$$

$$P_R(x_i, t) = \delta \cdot \Delta t_{min}^C + \delta^2 \cdot \Delta t_{min}^C + \dots = \Delta t_{min}^C \delta \cdot (1 + \delta + \delta^2 + \dots) \quad (2.8)$$

Тогда система уравнений (2.3) в первом приближении по общему параметру δ становится однородной и имеет вид

$$\frac{P_R(x_i, t)}{T} N(x_i, t) = 0, \quad (2.9)$$

а ее решение, соответствующее маргинальной устойчивости при $\Delta t = \Delta t_{min}^C$, определяется как $x_{1,i} = C \cdot e_1$, $x_{2,i} = C \cdot e_2$, и т.д. Здесь $C = \psi(P_R(t))$. Очевидно, что эти решения определяются возможностями определения величин e_i . Если первое из уравнений (2.8) по определению является линейным и однородным, то последующие — нет.

Параметр $P_R(t)$ можно записать в виде матрицы на пространстве векторов $\{x_i\}$. Тогда указанное решение может иметь вид $x_i \cong \frac{1}{P_R(t)} \cdot e_i$. Это вероятностная характеристика, роль которой в инжиниринге весьма малоинформативна с позиций рискообразования и предупреждения рисков.

Вывод, который следует из этих рассуждений, заключается в определении роли неопределенностей в понимании процессов рискообразования, как весьма неустойчивого параметра системы.

В рамках экологической безопасности рассмотрим более подробно устойчивость состояния ранее презентованной нами пространственно-однородной параметрической экосистемы «человек — промышленный отход», параметры которой характеризуют выделение и рассеяние вредных веществ. Такая система предусматривает появление рисков, связанных с воздействием загрязнения, вызванного появлением промышленных отходов и приводящего к заболеваниям среди населения, расположенного в зоне влияния этих отходов. В пределе, сбалансированная, таким образом, на местности система требует, чтобы загрязнения в виде отходов не попадали в организм человека, их составляющие находились в пределах заданных норм и не были причиной нарушения здоровья населения. Целью такой экосистемы является ее устойчивость.

При этом условие однородности системы обеспечивается вынесением за ее пределы собственно источников загрязнения. Условием устойчивости, по [3] является

$$dx_i/dt = V_i(x_j) + D_i \cdot \nabla^2(x_i), \quad (2.10)$$

где: x_i — параметры состояния системы;

D_i — коэффициент рассеяния i -го компонента в системе отходообразования;

j — параметр обращенного потока в системе;

V_i — объем i -го компонента в обращении.

Если принять первое допущение о том, что коэффициент рассеяния i -го компонента отхода является неизменным, для некоторого мгновенного макроскопического состояния, описываемого переменными $\{p_i\}$, удовлетворяющими уравнениям баланса, а концентрации p_i -х компонентов в системе невелики при значительном их рассеянии, то уравнение (2.9) принимает вид

$$dp_i/dt = f_i(\{p_j\}, \pi) + D_i \cdot \nabla^2\{p_i\}, \quad (2.11)$$

где: f_i — нелинейная функция, описывающая полную скорость выделения в систему i -го компонента;

π — бифуркационный параметр системы, позволяющий судить об образовании катастрофных явлений (сборок, складок...) и других неопределенностей.

Уравнение (2.10) раскрывается в систему нелинейных уравнений в частных производных, число решений которых зависит от свойств диффузной матрицы. Однако полной классификации точных решений таких уравнений не существует. Второй член уравнения (2.10) определяет устойчивость однородной системы и, при определенных условиях, может привести к спонтанному изменению начальной пространственной симметрии.

Примем второе допущение о том, что система не является сильно неравновесной, т.е. находится вблизи состояния термодинамического равновесия. Это означает состояние такой экосистемы, когда параметры среды, включающей промышленные отходы, имеют незначительные отклонения от равновесных (допустимых, термодинамически нормативных) значений. Тогда

уравнение (2.10) записывается через потенциальную (энергетическую) функцию V следующим образом

$$dp_i/dt = -dV(p_j, \pi)/dp_i. \quad (2.12)$$

Точка начала бифуркационных изменений в системе определяется условием $dV/dp = 0$ и $V \neq f(t)$. Поверхность управления, которой принадлежит подобная точка, в месте ее дислокации либо имеет ветвление решений, либо потенциальная функция объема компонентов V достигает здесь абсолютного минимума не менее, чем в двух точках, расположенных в местах пересечения таких гиперповерхностей. Линии пересечения таких поверхностей разделяют гладкий и переходный неустойчивый режимы функционирования системы, если она описывается сборкой Уитни и др.

Сравнительные исследования динамики некоторых видов заболеваний для населения, компактно проживающего в зонах скопления, например, металлургических шлаковых отвалов, свидетельствуют о том, что в определенные периоды времени, ограниченного, как правило, 3–4 годами, приходится сталкиваться с их многочисленными скачкообразными изменениями. Например, подобные изменения установлены для статистики общих заболеваний органов кровообращения у жителей поселка Каменск (возле г. Мариуполь) середины 1990-х годов, что является существенной аномалией по сравнению с контрольными данными более благополучного в этом отношении Приморского района г. Мариуполя (см. рис. 2.1, а). Или подобные зависимости для статистики аномальных родов в г. Мариуполе и в целом по Донецкой области (см. рис. 2.1, б). Обозначим эту зависимость $x_i(t)$ и рассчитаем для нее вероятностную характеристику риска заболеваний указанных видов. Результаты расчетов, выполненных по данной методике, приведены в табл. 2.1.

Решение уравнения (2.11) в матричной форме имеет уже знакомый вид

$$P_R(t) \cong \frac{1}{x_i} e_i. \quad (2.13)$$

Таблица 2.1 — Сравнительные результаты расчета вероятности рискообразования, связанного с некоторыми видами заболеваний, для людей, попадающих под влияние шлаковых отходов металлургического производства на территориях, прилегающих к г. Мариуполу.

Виды заболеваний						
Заболевания системы кровообращения				Проявления аномалий у новорожденных		
$N_{i+1} - N_i$	$P_{R\text{ расч}}$	$P_{R\text{ эксперим}}$	$P_{R, i} - P_{R, i}^1$ $i \equiv i^1$	$N_{i+1} - N_i$	$P_{R\text{ расч}}$	$P_{R, i} - P_{R, i}^1$ $i \equiv i^1$
-1	0,15	0,15	0,0	+0,35	0,051	0,0
+1,5	0,130	0,134	0,0	+0,22	0,044	0,0
-0,5	0,117	0,125	0,0	+0,27	0,039	0,0
+25	0,095	0,081	0,0	+0,5	0,030	0,0
-1	0,079	0,065; 0,122	0,06	+0,31	0,027	0,0
+0,5	0,073	0,062; 0,079	0,017	+6,85	0,023	0,0
-	0,067	0,068	0,0	+0,55	0,019	0,013; 0,024
-	-	-	-	+0,23	0,013	0,011; 0,017
-	-	-	-	-0,27	0,012	0,011
-	-	-	-	-2,9	0,011	0,0

Для первого определяющего параметра $x_1 = const$ имеем единственное решение $P_R(t) = \frac{1}{x_1/\delta t}$, где $\delta t = t_1 - t_{min}^c$ — бесконечно малый текущий интервал времени, отведенный для факта нежелательного события в общем временном интервале наблюдения события $t_2 = T$.

Например, для $\delta t/T = \frac{10}{365}$ расчетная вероятность события, связанного с рискообразованием заболевания системы кровообращения у жителей, проживающих в зоне шлаковых отвалов поселка Каменск изменяется от 0,15 до 0,07 при скачкообразном изменении числа случаев заболевания с 7 до 32 случаев на каждые 10 тыс. населения.

Если принимать во внимание данные статистической отчетности (см. рис. 2.1, а, кривая 1), то за период времени $T = 3$ года вероятность рискообразования при скачке N от 7 до 32 случаев при $\delta t = 1 \div 10$ суток в году, разброс по параметру P_R достигает 1,33–2 раза при $T = const$. При этом отклонение от расчетной вероятности находится в широком диапазоне от 15 до 95%. Такие отклонения нельзя объяснить только погрешностями расчетов. Можно сделать вывод о наличии ветвления функции $P_R(t)$ в период скачкообразного изменения одного из параметров x_i и появления состояния неопределенности, при котором затруднительно применение метода вероятностного моделирования уровня риска в системе.

В данном примере показано, что риски заболеваемости при обращении с промышленными отходами, в том числе, для жителей районов, где такие отходы накапливаются, являются малоуправляемыми, если рассматривать их природу с позиций только стационарной вероятностной модели. Временные характеристики риска дают возможности для проявления иных, кроме вероятностных, моделей его оценки. Даже такое упрощенное исследование позволяет судить о роли времени в понимании процессов, которые происходят в рискообразующей системе. С истечением времени приближения потенциального риска от прогноза до настоящего времени, его смысл и уровень могут также существенно меняться. Вариации степени риска в системе могут быть достаточно

существенными, если рассматривать их в перспективе и прогнозировать их динамику от нулевого значения «риск отсутствует», до значения реального риска «риск реальный».

Для наших исследований, которые отошли от чисто вероятностного понимания риска, важен факт сопряжения рисков с другими неопределенностями самого различного вида, что позволяет применять новые подходы к изучению этого феномена, включая не только временные, но и другие, сопряженные с ними, понятия в системе рискообразования, в частности, понятия событийности и энтропии.

ГЛАВА 3

РИСКИ С ПОЗИЦИЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ СОБЫТИЙНОСТИ

3.1. Фундаментальные аспекты событийной интерпретации рисков

Одним из первых, кто в своей теории причинной механики связал вопросы времени и событий в плоскости их причинно-следственных взаимоотношений, был академик Н. А. Козырев [1, 2], в частности, своей аргументацией представления о мгновенной передаче сигнала от одного события к другому посредством воздействия на физические свойства времени, что было, в последующем, подтверждено астрономическими исследованиями [3, 4]. Эти положения, на первый взгляд, далеки от области наших исследований. Тем не менее, покажем, что они имеют прямое отношение к предмету нашей работы, а именно, к рискам, в той части теории, которая связана с представлениями о зеркальной асимметрии, например, [5]. В нашем случае, это представление о самой простой несимметричности свойств и понимания времени и событий прошедших, настоящих и будущих.

Связь риска и событийности присутствует в работах В.И. Пампуро [6, 7], который противопоставляет стохастическому методу вероятностной оценки риска детерминированный подход, основанный на последовательности событий, закладываемых экспертом в виде параметрических зависимостей, характеризующих этот риск.

Оценивая правильность таких подходов, попробуем опять оттолкнуться от вероятностной модели риска. Вероятностная шкала оценки рисков базируется на некоторых основных свойствах, которыми обладает эта категория опасности для самых разных видов человеческой деятельности, как ее неотъемлемой составляющей. Перечислим некоторые доступные свойства рисков, на которые следует ссылаться:

- неопределенность;

- сочетание сингулярности и конечной взаимной зависимости событий, предшествующих рисковому из них;
- динамичность процедуры рискообразования;
- многообразие и параметрическая сложность рискообразующих систем.

Следует подчеркнуть, что неразрывной составной частью процедуры проявления опасности или риска является точность рискообразующего события и его неизбежная причинная связь с предыдущими событиями. Сингулярность таких событий проявляется постепенно, в процессе накопления тех результатов, которые в последующем проявляют себя как рискообразующие, подчеркивающие именно это свойство события.

Реализованный риск представляет собой результат неизбежной, но сингулярной во времени последовательности предшествующих событий, и является их конечным результатом, состоящим из промежуточных результатов всех предшествующих событий. Этим подчеркивается свойство взаимной зависимости цепочки событий, предшествовавших рисковому событию.

Считается, что в основе управления рисками лежит управление неопределенностями, и эффективность такого управления зависит от ценности системы, ее динамической адаптивности по отношению к возмущающим событиям, от объективности данных. Параллельно развиваются другие алгоритмы управления рисками, основанные на развивающихся вычислительных мощностях и современных статистических закономерностях [8, 9]. В особенности это относится к информационным, финансовым и экономическим системам. В частности, это методы раннего предупреждения рискованных состояний системы, модели, обозначенные *Flores*, как позволяющие предупреждать риски в системах страхования посредством стохастических оптимизаций, в системах торговли недвижимостью, логистических операциях и др. Для оценки надежности и возможных рисков в программных обеспечениях компьютерных систем используются нейронные сети, как инструментарий для выявления рискообразующих закономерностей в определенном спектре моделей применительно к информационным, финансовым, организационно-управленческим и другим

областям деятельности, сопряженной с рисками, в частности, криминальными [10, 11]. Инструментарий *Data mining* также дает эффективный результат при использовании механизмов искусственного интеллекта в системах анализа и предупреждения рискообразования, в частности, связанного с мошенничеством. Все они, так или иначе, опираются на понимание событий, связанных с прогнозируемыми рискам.

Обсуждение понимания рисков, как категории опасностей, чаще всего связывают с пониманием феномена времени, его прошлого, настоящего и будущего. Авторы, изучающие эту проблему, так или иначе, ищут решение феномена термодинамической или, по-другому, психологической «стрелы времени» на уровне философии, квантовой механики, термодинамики, знаний о неопределенных событиях и др. [12–17]. Чаще всего риски определяются через вероятность событий, которые рассматриваются, как причина их появления на фоне множества других равнозначных событий. И, наиболее типичный вариант, с которым приходится сталкиваться, утверждает, что расчетным способом достоверное изучение этого явления не представляется возможным. Такой пример приведен в работе [18], где вероятностная характеристика рисков, связанных с жизнеобеспечением человека, полностью дублирует событийные характеристики жизненного цикла человека, но этим не отвечает на основной вопрос о количественной стороне. При этом логическое совпадение, основанное на формуле Шеннона, только подчеркивает однотипность таких вероятностных зависимостей. Наиболее употребительная фраза «риск грозит событиями, которые проявляются в авариях, катастрофах» свидетельствует о самом факте опасных реальностей и связанных с ними событий. При этом вероятность, как количественная характеристика риска, определяет статистическую величину не самого риска, как прогнозируемого состояния системы, а апостериорного результата появления события, вследствие которого происходит авария, катастрофа.

Вероятность в данном случае претендует только на некоторую количественную оценку неопределенности, предшествующей рисковому событию. С этим можно согласиться только как с частным случаем. Собственно предмет исследования, риск, имеет более

глубокое толкование, связанное со временем. Например, Г. Рузавин показывает, что неопределенность и риски, их прогнозирование следует рассматривать не только с малоперспективных позиций вероятностно-статистических подходов, но используя для этого основы теорий нелинейной динамики, неравновесных систем, принципы синергизма [17].

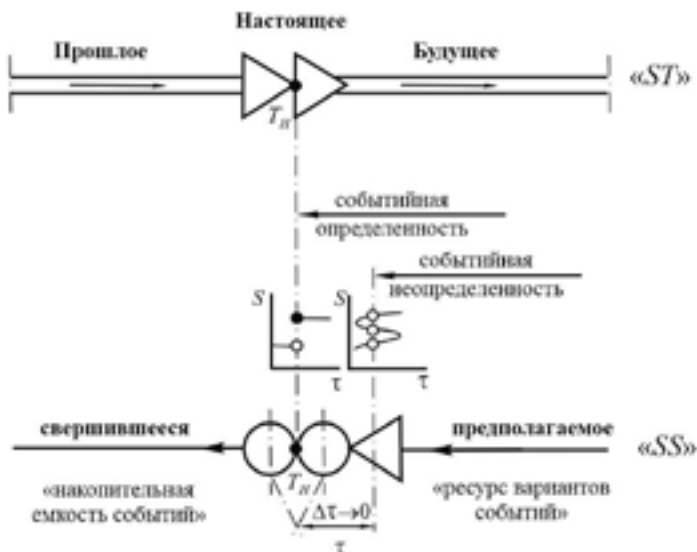


Рис. 3.1 — Геометрическое представление об относительности шкалы времени «ST» и шкалы событий «SS» с позиций рискообразования

Обратим внимание на временные зависимости риска, как категорию событийности. Известно, что понятию «время» отдается дань в исследованиях многих специалистов в самых различных областях знаний. Однозначного определения этому понятию не существует. Не претендуя на абсолютность в терминологии, обратимся к известному.

Мы можем найти, что **время** — это количество компонентов, используемых для изменения продолжительности событий, интервалов между ними, и их последовательностей.

Эйнштейн определял **время** через связь с физическими законами и их параметрами, подчеркивая, что их значения каждый раз являются производными каких-либо состояний или событий.

Психолог Ли Смолин определяет **время** как отношение между происходящими событиями и их изменениями.

С точки зрения предмета наших исследований, **время** — это то, что не позволяет всем событиям происходить сразу. Это именно то, что упорядочивает события в их последовательности.

Нас в этих определениях интересует связь времени с событиями, происходящими вокруг человека, которая является объективной реальностью, и более тесной, чем это может казаться. Причем события структурируются как состоящие из отдельных элементов в их упорядоченном проявлении. Время невозможно без движения. А движение в понимании феномена времени — это последовательная смена событий, с которыми человека связывает время. Самый простой пример. Изречения типа «это было после войны», «это произошло сразу после наводнения», «это случилось перед твоим отъездом», являют собой привязку ко времени посредством фиксации в нем указываемых событий. Здесь упоминаются некоторые события в их последовательности, и время также измеряется последовательностью событий, известных наблюдателю.

Для наших рассуждений важно подчеркнуть, что *время является мерилom событий, их последовательности и масштабности*. Такой тезис имеет право на существование, если делать ссылки на историчность термина «время» или принимать во внимание его «измеряемость» обычными бытовыми событиями или событиями массовыми и масштабными. Даже радиоуглеродный метод оценки времени, к которому принадлежит конкретный археологический предмет, основан на известном физическом эффекте и сопровождающем его событии — полном распаде изотопов углерода за определенный период времени.

Для простоты понимания процессов рискообразования, представим известную однонаправленную (по крайней мере, для макросистем) «стрелу времени» в следующей интерпретации: вся шкала времени «ST» легко делится на несколько неравно-

мерных интервалов [19]. Это прошлое, настоящее, будущее (рис. 3.1). Прошлое дает представление о свершившемся, будущее связано с предполагаемым, а настоящее время ассоциирует с существующим. При этом интервалы этих временных рядов существенно отличаются. Если продолжительность прошлого может определяться либо началом конкретного отсчета, либо временем «большого взрыва», а будущее время всегда относится к бесконечности, то настоящее время (T_n) всегда нулевым образом минимизировано и расположено строго между прошедшим и будущим ненулевыми отрезками времени [12, 20]. Ученые-хронисты сходятся во мнении, что времени настоящего не существует. Поэтому под параметром T_n проще всего понимать пограничную точку на шкале времени, которая расположена между временем прошедшим и временем будущим. Но тогда следует считать эту точку принадлежащей одновременно и времени будущему, и времени прошедшему.

Умозрительно можно представить еще одну однонаправленную шкалу. Ее можно условно назвать шкалой событий «SS», хотя при пристальном рассмотрении она представляет собой вариант шкалы времени, обозначенного в несколько иных масштабах. В работах [21, 22] показано, что событийный ряд в хронологии представляет собой многослойную пространственную структуру, состоящую из событий, уже состоявшихся и оставшихся в прошлом, событий, происходящих сейчас, в настоящем, и событий, которые можно прогнозировать из будущего. Важно то, что конкретное событие всегда имеет свою продолжительность, не равную нулю. Вектор таких событий всегда имеет единственное направление, противоположное «стреле времени» (см. рис. 3.1) [23]. Не стоит беспокоиться о кажущейся разновекторности такой временно-событийной шкалы: стрела времени и стрела событий здесь как бы взаимно противоположны. Такие закономерности в науке известны, они являются не суть объективными, а удобными для пользования. Например, христианское летоисчисление Дионисия-Беда, которым уже полтора тысячелетия пользуется весь цивилизованный мир, имеет такой же встречный временной не последовательный, а именно, встречный формат летоисчис-

ления с пограничем: «до нашей эры», точка времени рождения Христа и «наша эра».

Время при этом можно рассматривать как отношение между событиями и их изменениями. Это параметр, который упорядочивает события и не дает происходить каждому из них одновременно в одной и той же пространственной координате. В упрощенном понимании, время здесь представляется как показатель последовательного распределения событий и вещей в пространстве. Подчеркнем особо, все события, отображающие некоторые действия, так или иначе, всегда связаны с потреблением, преобразованием и расходом энергии и, таким образом, подчиняются известным термодинамическим законам и правилам. Это особенно важно для наших дальнейших рассуждений.

К тому же, как правило, шкала событий носит характер дискретности и фрагментарности, что ничуть не умаляет ее объемного и смыслового наполнения для наших исследований.

Известным и ярким примером событийной шкалы является историческая наука. В самых различных ее проявлениях: политическая история, географическая история, история отдельных государств или история народа, в любых ее разделах эта наука оперирует некоторой последовательностью событий, которые происходили в прошлом на протяжении какого-то периода времени и в некотором хронологическом порядке, который, как гипотетический, всегда являлся предметом полемики в исторической научной среде. Причем, последовательность исторических событий, как правило, далека от равномерности во времени и представляет собой всего лишь фрагментарные события, разделяемые отдельными и неравными промежутками времени, далекими от строгой последовательности. Не существует ни одной исторической временной последовательности, например, ежегодной, которая освещала хотя бы глобальные события каждого года. Даже, если это известные *Летописи*. То есть, мы имеем дело с далеко не последовательной шкалой событий, которая только в определенные промежутки времени корреспондируется со шкалой времени. Эта особенность исторических событий никогда и никого из исторического научного сообщества не смущала.

В качестве еще одного примера шкалы событий можно показать кажущуюся последовательность событий, которые происходят в космическом пространстве. Наблюдения в телескопы самого различного назначения (оптические, радио-, рентгеновские или гамма-телескопы для исследования космических объектов в собственном диапазоне частот и др.) дают представление не только о факте самих космических объектов, но и о динамике их развития и о событиях, которые с ними происходят — движение, взрывы, изменения спектрального состава и др. Но эта событийность также не непрерывна по отношению к шкале времени и является фрагментарной, что не особо беспокоит астрономов.

Будет ли реализован риск падения кирпича с крыши дома на голову случайного прохожего в момент времени будущего — τ_{δ} Или нет? В вероятностном изложении это будет, например, 75%-ная вероятность. В событийном риске эта реализация зависит от сочетания огромного количества событий, происходивших в прошлом τ_n или происходящих в настоящем T_n и может привести либо к реализации этого события (риск равен 1), либо к его отсутствию (риск равен 0) в некоторый момент времени τ_{δ} . И зависеть это будет не от случая, а, например, от того, какие виды крепления карнизов были предусмотрены в данном сооружении при его проектировании в момент времени τ_{n0} , какого качества был скрепляющий раствор при строительстве этого здания в момент времени τ_{n1} , каково местоположение этого кирпича в конструкции здания в момент времени τ_{n2} , каковы были погодные условия в местности нахождения этого здания и величины перепадов температур, влажность и термические перепады в теле самого кирпича, которые приводили к его системному крошению в период времени $\tau_{pi} \div \tau_{n(i+1)}$. Информация о таких возможных событиях для анализа в момент времени T_n , влияющих на падение кирпича будет достаточно много от момента T_{n0} — предельного прошлого времени до момента τ_{δ} — времени наступления рискообразующего события в некотором будущем. И каждое из них своей энергией будет, некоторым образом, отличаться от других, становясь более или менее значимыми для нашего риска. Но это с одной стороны. С другой стороны, объект риска — человек, должен также отве-

чать условиям событийности. Чтобы в нужный момент попасть в нужное место, человек должен заранее иметь цель, благодаря которой он будет двигаться мимо заданного объекта. Ради этого он должен иметь предысторию своих поступков в прошлом времени τ_{ni} , заставивших его оказаться там, где «надо» в момент времени τ_{δ} , чтобы столкнуться с падающим кирпичом. Такая последовательность событий для человека также может иметь неопределенный характер, но каждое из них должно отличаться таким энергетическим наполнением, чтобы быть потенциально возможным для встречи с кирпичом в момент времени τ_{δ} . При этом величина риска почти мгновенно (в некоторый условный промежуток $\delta\tau \rightarrow \tau_{\delta}$) меняется от значения, равного нулю, до значения, равного единице. Мы запомним этот критический временной промежуток $\delta\tau$.

Можно фантазировать, сославшись на рассуждения, подобные тем, какими пользовался С. Хокинг, введя термин «горизонт событий» для энтропии черных дыр вселенной [24]. Для этого в нашем случае «горизонтом» должен стать временной интервал в пределах T_{n0} , учитывая, что ранее него никаких событий, способствующих падению кирпича на голову прохожему, не случилось, и внутри этого временного предела энергия события для двух объектов — кирпича и человека уже становится значимой, способной к организации их физической встречи. Те события, которые не обладают энергетическим потенциалом, способным связывать их с рискообразующим событием, будут находиться за «горизонтом событий».

В целом для шкалы событий, в сопоставлении со шкалой времени присутствует фактор фрагментарности или «рваного» состояния, что, тем не менее, не умаляет роли такой шкалы для различных исследований.

Вернемся к смыслу шкалы событий.

В силу разнонаправленности, образно можно представить, что «стрела времени» как бы поглощает «шкалу событий». Шкала событий также имеет несколько интервалов: один из них, соответствующий прошлому времени на «ST» (еще раз вспомним историческую науку), является условной накопительной емкостью

для абсолютных событий на шкале «SS», которые уже произошли и остались в прошлом. Эти события, произошедшие ранее, являются основой для изучения их причинно-следственных связей и последствий, то есть являются базой для аналоговой рискологической аналитики. Будущие, или предполагаемые события на шкале «SS» — это всеобщий ресурс многообразия возможных вариантов событий для их «перекачивания» через настоящее и наступившее. Они всегда не определены и дают потенциальную возможность вариативно прогнозировать ситуацию в настоящем на основании экстраполирования опыта прошлого. Эти событийные интервалы, также фрагментарные. Они, в принципе, совпадают с соответствующими интервалами на «стреле времени». Кроме одной особенности.

Эта простая схема не учитывает одного условного событийного интервала: между потенциальным и наступившим событиями. Интересующий нас интервал $\delta\tau \rightarrow T_H = 0$ примыкает к этой точке нулевого перегиба T_H между прошлым и будущим, но уже в виде реального временного интервала (см. рис. 3.1).

Во времени этот интервал отображается, как некоторая (пока, условно формализованная), упомянутая нами выше, величина

$$\delta\tau = (\tau_1 - \tau_2) \rightarrow 0, \quad (3.1)$$

где τ_1 и τ_2 — некоторые особенные точки на шкале времени, такие, что должны соответствовать условиям

$$\tau_1 \rightarrow T_H, \text{ а } \tau_2 > \tau_1 \text{ и при этом } \tau_2 \rightarrow \tau_1 \quad (3.2)$$

по смысловому назначению, как и условное настоящее время (T_H) стремится к нулю, то есть $\delta\tau$ отображает понятие временного мгновения. При этом в формализованном виде записи (3.1) $\delta\tau < 0$, так как всегда в абсолютном значении событийное будущее предшествует событийному настоящему на шкале «SS», а вектор шкалы событий «SS» всегда направлен в противоположную сторону по отношению к вектору стрелы времени «ST», (см. рис. 3.1). И поэтому всегда

$$\tau_1 < \tau_2. \quad (3.3)$$

«Дистанция (временная) между причиной и следствием может быть сколь угодно малой, но не может быть равной нулю». Это показал академик Козырев [23]. Последовательно это относится и к временному интервалу $\delta\tau$, предшествующему из будущего времени настоящему. Он бесконечно мало отличается от нуля. Чем меньше интервал времени $\delta\tau$, предшествующий времени настоящему, тем более точно можно предсказывать соответствующее этому событие. То есть с приближением времени T_n возрастает упорядочивание системы, как это имеет место в хаотических системах [25].

Подобные механизмы временных задержек известны, например, психологам, которые утверждают, что позади времени настоящего находится крайне малый интервал запаздывания, по некоторым исследованиям, равный $\delta\tau = 80$ миллисекундам [26]. Каждый человек живет на этот промежуток далее в прошлом по отношению к условному времени настоящему T_n . Временное восприятие события мозгом человека происходит через доли секунды после того, как оно произошло. Почему бы нам не рассматривать и стоящий впереди времени настоящего такой же крайне малый промежуток времени, которое ответственен за переход события из состояния потенциального в состояние реальное.

В событийном смысле, этот специфический временной интервал завершается соответствием тому единственному событию (обозначим его как «00», рис. 3.2), которое наступило в результате развития системы. Вначале этого интервала любое событие существует уже как единственное и достоверно предполагаемое, которое наступает мгновенно за $\delta\tau \rightarrow 0$. Это событийный временной интервал неопределенности перед настоящим временем, который практически всегда почти равен нулю (тот самый «миг»), но его смысл во временном ряду крайне велик. Теоретически ненулевой интервал ($\delta\tau < 0$) формально отделяет мгновением одно единственное из нескольких потенциально возможных событий от сути события единственного, наступившего.

Можно было бы спорить о существовании этого условия в виде очевидного и простого выражения $\lim_{\delta\tau \rightarrow 0} (T_n + \delta\tau) = T_n$,

если бы не убедительность теории катастроф [27], в частности, понятия бифуркации, составляющей сущность перехода от временной неопределенности события с бесконечно малым интервалом к событию, однозначно свершившемуся и вполне определенному.

Выше оговорено, что с учетом тезиса о том, что настоящего времени не существует, умозрительная точка T_n на временной шкале принадлежит одновременно и времени будущему, и времени прошедшему. Это не только признак бифуркационной зависимости. Такая система, явно нелинейная, дискретная, корреспондированная с хаосом, является сугубо динамической относительно временного параметра, необратимой, относительно своих параметров: времени и событий, и обладает качествами однозначной зависимости текущего (условно настоящего) состояния системы от того, каким образом система приходит к этому состоянию.

В последовательной цепи причинно-следственных взаимосвязей между событиями, когда следствие оказывается на конечном расстоянии Δr от причины, следствие возникает после причины через конечный промежуток времени Δt . Н. А. Козырев показывает, что теоретическое отношение этих величин $\Delta r / \Delta t$ определяет скорость распространения некоторого сигнала (импульса) в направлении от причины к следствию, которые разделены этим промежутком времени. Для двух элементарных позиций, в которых причина и следствие разделены элементом пространства Δr , обязательно существует время разграничения Δt . В этом случае Δt представляет собой временную точку, которую из-за существования различия между причиной и следствием мы не можем считать равной нулю. Если, например, причина возникает в самом конце первой секунды, то следствие возникает в самом начале второй секунды и т.д. Академик Н. А. Козырев, как вариант, предлагает показывать предел суммы всех промежутков времени в полной причинно-следственной цепочке равным нулю и на основании этого рассчитывать скорости распространения импульсов [23]. В нашем случае, $\Delta t \sim \delta t$. В этом интервале прекращается фактор неопределенности каждого наступившего со-

бытия, не позволяющей оперировать этой категорией в качестве вещественной. Мгновенно появляются другие качества, которые могут показывать события во взаимосвязи и в операционном взаимоотношении.

Подтверждая автора [28], покажем, что достоверность абсолютного события способна порождаться условиями глобальной неоднозначности, например, бифуркацией. Оно готово наступить каждое последующее мгновение перед настоящим, и оно, это мгновение δt , должно отделять два реальных временных интервала: настоящее и будущее. В первом состоянии системы отличается устойчивостью и нулевой потенциальной энергией. А во втором, это неустойчивость многообразия возможных вариантов развития событий и необходимая для этого уже ненулевая потенциальная энергия, ее затраты и потери. Переход между последовательными состояниями неопределенности в системе предусматривает изменение ее энергетического потенциала, который всегда представлен в таких динамических системах и расходуется на подобные переходы.

Почему мы определяем понятие риск через понятие события? Следует отметить, что события как социальная парадигма, являются явно недооцененным фактором человеческого существования, в особенности в области прикладных наук. Их влияние на все способы существования человека весьма велики.

Событие — это прогнозируемый человеком или последовательно реализуемый *порядок логических действий*, которые в динамическом аспекте изменяют систему или ее части в требуемом или произвольном направлении.

События — это то, что сопровождает человека всю его жизнь, от момента появления на свет до последних дней его существования. Человек не может существовать вне событий и является для них объектом действия. В события могут быть вовлечены несколько человек, группы и даже народы, в зависимости от масштабов этих событий. Но в любом из этих случаев, событие для каждого человека строго персонифицировано. И следствия из этого события для каждого человека будут сугубо индивидуальными.

События обладают некоторыми свойствами, делающими их узнаваемыми среди иных парадигм человеческого существования. А именно.

1. События в историческом разрезе имеют способность к повторяемости. Меняется только их субъектность (окружающая среда) и объектность (человек). В таком разрезе можно иметь номенклатуру стандартных событий с унифицированными алгоритмами, реакции на которых и последствия можно, в некотором смысле, заранее программировать. Даже результаты таких повторяемых событий могут быть разными, опять-таки, в зависимости от субъектности и объектности применения события.

2. События, как логические действия, не могут существовать вне энергетических взаимодействий, направленных, согласно алгоритму события, на изменение либо самого субъекта события, либо на изменение окружающей среды. Энергетический обмен сопровождает любое событие и его параметры, в полном соответствии с законами термодинамики, определенным образом характеризуют специфику тех или иных событий. Человек способен сам быть энергетическим донором для события, но в нем могут использоваться другие источники энергии, в зависимости от субъектности применения события. В частности, энтропия события может служить своеобразным его кодом. Чем меньше энтропия, появляющаяся как результат события, тем больше синергизм этого события, тем более конструктивным является действие события на окружающий мир или на человека. И, наоборот, рост энтропии в результате совершения события — это степень деструкции для такого события, его негативная составляющая в человеческом существовании.

3. События имеют обязательную привязку ко времени, зависят от времени, протекают во времени, причем и продолжительность события, и его энергетические параметры тесно взаимосвязаны. Событие может произойти и может не произойти в конкретный временной отрезок. Это зависит, прежде всего, от готовности субъектности к совершению события и от наличия энергии, способной запустить это событие.

4. События могут происходить последовательно или параллельно, в зависимости от того, каким образом они касаются разных людей или их групп, а также от их временной и энтропийной принадлежности. Поэтому, шкалы времени, энтропии и событий всегда сопоставимы и анализируемы.

5. Существование энергетических субъектно-объектных взаимодействий в рамках события делает его сильно влияющим фактором на организм человека, его социально-экономический и биологический статус. В конечном результате, последовательность единосмысловых событий приводит к некоторому радикальному результату: повышению или понижению по службе, банкротству предприятия, экономическому или политическому кризису или развитию, созданию или разрушению семьи, катастрофам, авариям, нарушению целостности технической системы, гибели людей и др. В таком смысле, дефиниция термина «событие» корреспондируется с термином «риск», как предвещающим какой-то результат этого события. Именно здесь находится общность этих двух понятий, сопровождающих человека на протяжении всей его жизни.

Следует подчеркнуть, что событийная структура описания рисков достаточно согласована с методологией научного детерминизма как своей взаимосвязанной последовательностью, так и взаимообусловленностью. Когда одни события из прошлого объясняют события наступившие, а те, в свою очередь, становятся основанием для событий будущего. Этим подтверждается причинно-следственная связь в событийных рядах.

3.2. Регулируемая событийность и прикладные аспекты риска

В отличие от традиционных бифуркаций, направленных на переход системы от устойчивости к неустойчивому состоянию, в нашем случае мы имеем дело с системой, которая под воздействием множества самых малых приращений в виде отдельных событий, стремится от их поливариантности к устойчивому

состоянию в виде одного единственного события, которое происходит в настоящем времени. Этот процесс в теории катастроф носит название самоорганизации системы, то есть действий по упорядочению элементов одного уровня за счет внутренней энергии системы, которыми, в данном случае определяется базой событийных ресурсов (см. рис. 3.1).

Такую модель легко представить в виде последовательного орграфа (см. рис. 3.2), где вершины (jk) являются отображением некоторых предполагаемых событий (j) или свершившегося «00» события на каждом k -м уровне прогнозируемого интервала времени в будущем, по отношению к настоящему, а ребра графа — это причинно-следственные связи, последовательно превращающие одну j -ю причину в другую. Здесь представлены четыре последовательных временных уровня ($k = 4$) предполагаемых событий, каждое из которых на своем уровне является независимым от других равноуровневых. И только при переходе на следующий временной уровень проявляется своя собственная межуровневая связь. Выделим три составляющие:

- предполагаемые события (четыре уровня во временном интервале будущего);
- событийный интервал между потенциальными и наступившими событиями ($\delta\tau \rightarrow 0$);
- настоящее время $T_n \rightarrow 0$, и
- область свершившихся уже событий.

Самый нижний, первый, уровень событий показывает нам именно бифуркацию, например, в виде сборки, когда в период времени $\delta\tau$ остаются только три варианта событий: 11, 12, 13, и лишь одно из них, а именно 12, становится реально свершившимся уже через мгновение в настоящем времени (см. рис. 3.2). Цепочка предполагаемых событий, которые привели к свершившемуся «00», имеет вид:

$$00 \leftarrow \overbrace{(12)}^I \leftarrow \overbrace{(23)}^{II} \leftarrow \overbrace{(34)}^{III} \leftarrow \overbrace{(34 \rightarrow 36)}^{III} \\ \leftarrow \overbrace{(44 \rightarrow 46 \rightarrow 48 \rightarrow 49)}^{IV}$$

Все остальные возможные события не привели к реальному результату, событию «00».

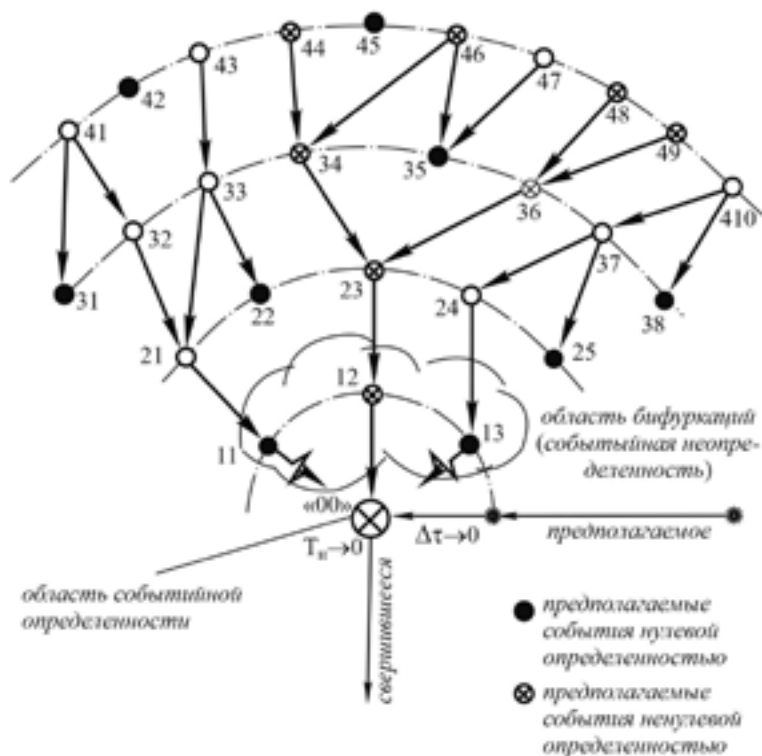


Рис. 3.2 — Ориентированный граф отображений предполагаемой событийности и причинно-следственных связей $[J(j = 1, J) \rightarrow K(k = 1, K)]$ между событиями, находящимися в предположении к некоторым равнозначным условиям

В методическом плане такой оргграф (см. рис. 3.2) формируется исходя из матрично-хронологического определения причинно-следственных взаимодействий для некоторого события и условий их возникновения, которые могут изменить последовательность событий произвольным образом, внося тем самым высокую степень неопределенности в методику.

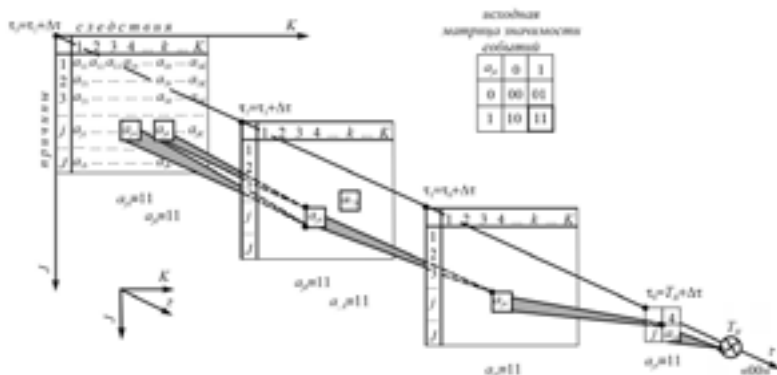


Рис. 3.3 — Динамические матрицы причинно-следственных связей для оценки реального рискованного события «00» в некотором временном интервале

Причинно-следственные взаимодействия событийных процессов легко отслеживать в каждом конкретном (i -м) одномоментном матричном режиме в виде элементов матрицы a_{jk} , где: j — порядковый номер причины появления события, k — порядковый номер следствия, которое является основой для события (рис. 3.3). Как следует из табл. 3.1, каждой причинно-следственной связи может быть присвоен некоторый маркер, состоящий из нулей и единиц и отражающий соответствие этого события некоторым условиям. Размер элемента матрицы может быть иным. Например, если элементы матрицы соответствия являются производными от экспертных оценок, значит, они могут составлять суть цифровых экспертных оценок. Смысл матрицы для некоторого значения $t_i = const$ при этом полностью сохраняется, потому, что в ней присутствует временная составляющая, разделяющая смысл каждого элемента матрицы в собственном i -м временном интервале t_i . Это придает некоторую форму универсальности таким записям. В конечном результате такая матрица дает представление о единственном событии, которое из предполагаемого будущего через интервал времени, например, $3\Delta t$ см. рис 3.3), станет реальным. В течение этого интервала времени из всех возможных $a_{j,k}$ -х событий рискованное событие $a_{j,4}$ будет реализовано как фактически состоявшееся.

Таблица 3.1 — Таблица соответствий в матрице элементов $a_{j,k}$ маркирования в каждом i -м одномоментном временном интервале

Маркер	Правила маркирования в матрице событий
00	Причина отсутствует, и потенциального события нет
01	Причина неочевидна, но потенциальное событие учитывается
10	Причина существует, но потенциальное событие неочевидно
11	Причина существует, и потенциальное событие присутствует

События и сопутствующие им условия (причинно-следственные связи), как правило, находятся в некотором логическом взаимоотношении, например:

1. Условия могут изменяться с приближением к настоящему времени.

2. Прогнозируемое событие, как факт, не может изменяться с приближением к настоящему времени. Могут изменяться только внешние условия его осуществления.

3. Сценарий реализации прогнозируемого события может изменяться в зависимости от внешних условий и сопутствующих ему иных событий, их причин и следствий.

Такие отношения позволяют не только структурировать актуальные для риска события, но и отличать из всей их совокупности те, которые могут при последующем анализе становиться реальными событиями для рискованного события в настоящем времени.

Фактически представленная методика есть не что иное, как метод прогнозирования того или иного явления, в данном случае, событий, приводящих к рискованным результатам. Графопостроительная модель (см. рис. 3.2) — это перевернутая пирамида цепочки событий, вероятность которых стремится к единице с приближением временного интервала от времени отдаленного будущего к времени настоящему. Чем ближе будущее к настоящему, тем точнее прогноз.

Обратим внимание на природу перехода от многообразия событийной неопределенности к вполне определенному событию. Вероятность абсолютного детерминированного события, которое наступило (как и прошлого, соответственно), всегда равна единице по причине свершившегося. Вероятность любого стохастического события из предполагаемых, то есть, из будущего, теоретически равна нулю по причине его неопределенности (рис. 3.4). При этом равновероятность двух событий встречается весьма редко. Этим мы приходим к пониманию феномена *бинарного (дихотомического) отображения* в понятии «риск», когда потенциальное рисковое событие переходит из временного интервала $\Delta t \gg 0$, когда потенциальный риск события измеряется единицей (не путать с событием), к некоторому почти мгновенному пограничному интервалу $\delta t (\neq 0) \rightarrow 0$, при котором риск уже свершившегося события переходит в реальность и при $\delta t = 0$ риск мгновенно становится равным нулю в силу свершившегося реального события. То есть, $R = (1; 0)$ без каких-либо промежуточных значений, как это предписывается вероятностными моделями его оценки. Из вышеизложенного здесь следует, что бинарность события и бинарность риска по смыслу являются взаимно противоположными: при $C = [0; 1]$ имеем $R = [1; 0]$ (см. рис. 3.4).

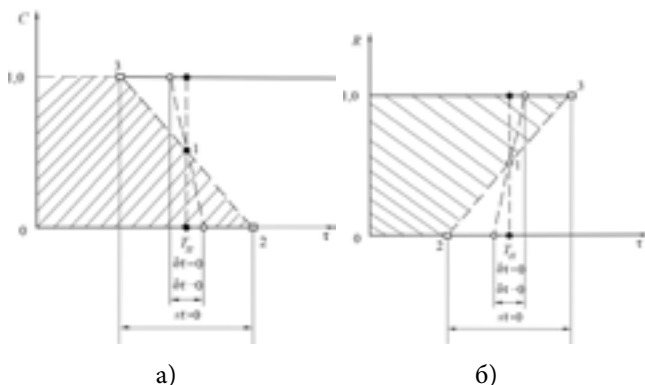


Рис. 3.4 — Вариант бинарного отображения субъективной ожидаемости события (а) и соответствующего ему риска (б) на границе неопределенности в моделях катастроф

Это легко отследить, например, в отдельных моделях событийного состояния системы из теории катастроф (рис. 3.5), когда, в некоторый промежуток времени $\delta\tau = (\tau_1 - \tau_2) \rightarrow 0$ между будущим и настоящим (переход от неопределенности к определенному состоянию в точке 1), такая вероятность мгновенно возрастает от нуля к значению, равному единице.

В нашей терминологии некоторая событийная неопределенность может мгновенно переходить во вполне определенное состояние, например, в катастрофе сборки (см. рис. 3.5, а) и не способна к такому переходу в катастрофе типа складки (см. рис. 3.5, б). Эти два случая отличаются существованием или отсутствием седловой точки (т.чк. 1) в момент времени T_n . В случае существования седловой точки, теоретический интервал вероятности между нулем и единицей относится именно к области $\delta\tau \rightarrow 0$. В этот бесконечно малый период происходит выбор из многообразия неоднозначности одного вполне однозначного события. Для событийной шкалы $\tau < T_n$ означает свершившееся, то есть такое событие перешло в условную емкость для накопления событий из тех, что уже произошли. События, имеющие варианты в период времени $\tau = T_n + n \cdot \delta\tau$ представляют на шкале событий «SS» некоторый из возможных вариантов ресурсов событий (см. рис. 3.5).

Мы имеем дело со скачком *понятия риска* от неопределенного к однозначному и реализуемому. Имеет ли этот скачок некоторую продолжительность во времени? Или он мгновенный? Этот переход и это время представляют интерес для изучения.

Можно утверждать, что **множественная неопределенность, которая предшествует во времени свершившейся определенности,— это и есть ключ к пониманию событийного риска.** В этом случае показатели риска будут находиться где-то в пределах соотношения множества неопределенностей и вполне определенных событий, то есть в интервале $\delta\tau$. Собственно понятие риска тоже включает понятия опасности, уязвимости и незащищенности человека, подвергаемого этому риску. Понятие опасности — это термин из области предполагаемого на шкале «SS» (см. рис. 3.1). Уязвимость появляется как раз в момент появления события, то есть в момент конкретной определенности настоящего времени.

А незащищенность проявляется тогда, когда событие произошло, и человек или другая биологическая система уже пострадали. Это событие уже в прошедшем. Оно стало достоянием накопительной емкости событий на шкале «SS».

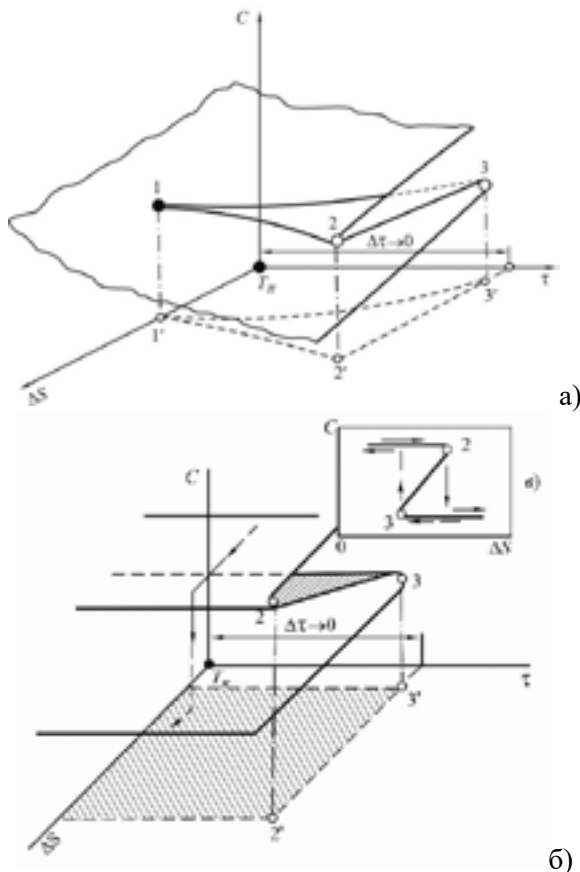


Рис. 3.5 — Наличие механизма перехода от событийной неопределенности к определенному событию по представлению сборки (а), или отсутствия такого механизма по представлению бифуркационной складки (б) и ее интерпретация в координатах $C = f(\Delta S)$ (в). Здесь ΔS — некоторая энергетическая характеристика события C во временном интервале $\delta\tau$

Предлагаемая идеология рисков, а именно *риски событийные*, обладает одним важным качеством. Она предусматривает не только учет, но и ликвидацию предпосылок к возникновению фактического рискового события задолго до его наступления. Таким образом, отслеживается и ликвидируется причина, побуждающая систему входить в аварийное состояние, как следствие этой причины.

В самой методологии событийных рисков заложена методика их минимизации. Она заключается в необходимости ухода от сценария, связанного с данным рисковым событием и его причинно-следственными связями.

Прежде, чем далее анализировать соотношения и свойства шкалы событий, рассмотрим в ней место причинно-следственных связей, роль которых отмечена выше, и благодаря которым осуществляется взаимодействие между отдельными событиями прошлого и наступившего.

Причинно-следственные связи могут стать еще одной шкалой соотношений для системы последовательных событий. Каждая из предыдущих причин «ищет» для себя некоторое потенциальное событие в будущем, для которого оно может стать источником. Это событие, в свою очередь, способно быть причиной другого события в новом приближающемся времени. Таким образом, выстраивается цепочка потенциальных причинно-следственных связей, которая обязательно сопряжена с событийной и временной шкалами и является и неременной составляющей, которая объясняет условия появления риска для некоторого прогнозируемого события.

Причинно-следственная связь — это связь между событиями, при которой одно событие, относящееся к причине, при наличии определенных условий порождает другое событие, называемое следствием.

Теоретические основы причинно-следственных связей достаточно развиты, например, в криминалистике [29, 30, 31], философии [32, 33], естествознании [34], лингвистике [35], но их актуальность подчеркивается и для теории событийных рисков, как продолжение и развитие этих традиционных исследований.

В частности, к ним относится теория эквивалентности, согласно которой существует временная иерархия причины и ее следствия и их обязательная эквивалентность, что, однако, затрудняет поиск первопричин. Наиболее известны и употребляемы в криминалистике теория неравноценных условий и теория об изменении равновесия в причинно-следственных цепочках, согласно которым все причины, предшествующие последующему событию, делились на основные и второстепенные, что позволяло локализовать круг событий до объективного, но при этом не снимался вопрос субъективности со стороны самого исследователя.

Установление пределов значимости связей происходит в достаточно субъективной форме и зависит от пользователя системы. Основные свойства причинно-следственной связи с позиций их событийности заключаются в следующих понятиях [31, 36]:

- **способ совершения события** — это форма, в которую вовлекается событие, его алгоритм, последовательность действий, которые составляют сущность конкретного события;

- **признак времени для события** — это участок хронологической шкалы, в рамках которой происходит событие и ему предшествующая причинно-следственная связь;

- **признак координаты события** — это место, где совершается событие, территория и характерные для нее свойства, определяющие специфику собственно события;

- **инструментарий события** — это перечень технических и других средств, при помощи которых совершается событие. Сюда же включаются составляющие внешней среды, в которой событие происходит.

Таким образом, смысловым наполнением причинно-следственных механизмов, определяющих суть события, являются: способ (алгоритм) события, его временные и пространственные рамки и средства достижения цели. Такой подход, по крайней мере, формализует основные свойства причинно-следственных связей и делает их удобным инструментом для создания последовательной событийной шкалы в практических исследованиях.

Понимание огромной группы причинно-следственных связей для различных последовательных и взаимосвязанных событий легко интерпретируется теоремой Байеса. Так события, отражающие функции последующих «причин» a , гипотез о предполагаемом событии называют априорными, то есть предваряющими. Их вероятность является безусловной и обозначается как $P(a)$. Условная вероятность относится к факту уже произошедшего (апостеорного) события b , которое «корректирует» результат. Повторим уравнение Байеса в следующей интерпретации условной вероятности, как корректировка априорного риска апостеорным событием b , которое уже совершилось

$$R(a|b) = \mu \frac{P(a)}{N}, \quad (3.3)$$

где $\mu = P(b|a) / P(b)$ — корректирующий коэффициент от причинного события b для реализации последующего события a , ставшего причиной проявления риска; N — общее число событий, предшествующих и сопутствующих в системе причинно-следственных связей.

Рассмотрим в качестве примера такой зависимости условия появления рискованного события, связанного с выбросами металла, как результат последовательной работы выбросоопасных систем: горна доменной печи, конвертера и сталеразливочного ковша в последовательной технологической цепочке получения металлургической продукции. Вероятности аварий, связанных с выбросами жидкого металла из горна доменной печи при его прогаре, составляют 0,001, из горловины конвертера — 0,06, из сталеразливочного ковша — 0,2. Случайная выборка статистических данных указывает на то, что полнота аварийных ситуаций, равная единице, может быть только при условии непрерывной работы всех трех агрегатов. Это условие можно считать априорным условием для системы. Апостеорным является любое из предполагаемых аварийных событий, связанное с выбросами жидкого металла: контакт жидкого металла с водой систем охлаждения, незапланированные химические реакции в зоне жидкого металла, переполнение металлургического агрегата компонентами плавки, ошибки в работе специалистов. Тогда по формуле Байеса получим

$$P(a_i|b) = \frac{P(b|a_i) \cdot P(a_i)}{P(b)} = \frac{P(b|a_i) \cdot P(a_i)}{\sum P(b|a_i)P(a_i)} = \frac{P_i n_i / N}{\frac{1}{N} \sum P_i n_i}. \quad (3.4)$$

В таблице 3.2 представлены расчеты рисков, связанных с выбросами жидкого металла из последовательных металлургических агрегатов в действующем производстве с учетом условности событий.

Таблица 3.2 — Сводные данные о событийном риске, связанном с выбросами жидкого металла из металлургических агрегатов

№ п/п	Вид агрегата	Производительность агрегата, n_p тыс. т / год	Вероятность аварии	Риск события
1	Доменная печь	350	0,001	0,216
2	Кислородный конвертер	280	0,06	0,002
3	Сталеразливочный ковш	54	0,2	0,78

Если учитывать все прилагаемые события, предшествующие авариям, связанным с выбросами жидкого металла, то наиболее актуальной является работа сталеразливочного ковша, аварии с выбросами жидкого металла в котором могут быть связаны с неправильной разливкой металла, отдачей на охлажденную шлаковую корку чушкового алюминия или других легковесных химических присадок, переполнение ковша жидкими продуктами плавки и др. Риск таких аварийных событий составляет 78%, что значительно выше, чем на других агрегатах. Такой вероятностный расчет, связанный с двухуровневым понятием вероятности в зависимости от причинно-следственных связей, дает более точный результат по непосредственным событиям.

Технология применения методов причинно-следственных связей в методологии оценки событийных рисков предусматривает трехфазовую структуру для понимания уровня событийности. А именно:

1. Локализация — привлечение внимания субъекта к конкретному событию, которое подлежит осмыслению. Проявление интереса к событию, как значимому.

2. Понимание (восприятие) — сопоставление события с уже имеющимися аналогами. Происходит виртуализация событийного объекта, экстраполяция его видимых свойств и последствий. Осуществляется их формализованная маркировка.

3. Анализ (рефлексия) события — переработка информации о событии с возможностями прогнозирования дальнейшего его влияния в событийном ряду. Иерархическое сопоставление с другими событиями с целью определения степени влияния на прогнозируемые риски.

Подобная структура позволяет осуществлять выбор значимых причин и значимых событий среди многообразия таковых в заданной системе.

Вернемся теперь к понятиям событийности.

Состояние события свершившегося — это состояние детерминированности. Оно означает, что событие уже произошло, только во времени (δt), предшествующем настоящему, об этом еще не известно. Такое событие всегда имеет под собой причинно-следственную связь: только цепочка последовательных первопричин может дать возможность свершиться именно данному событию, а не другому. При этом первопричины изучаемы, так как большинство из числа свершившихся событий уже расположены в прошлом времени, в виде «накопительной емкости событий», которая подлежит изучению.

Появление последовательности взаимосвязанных первопричин — это также ряд событий, которые собираются в событийную цепь, в конце которой находится только одна корневая причина нового события. В целом, таких корневых причин для конкретного события может быть несколько, чтобы их сочетание дало нам один из вариантов событий, ради которых затеяны эти размышления. Значит можно говорить о дереве причинно-следственных связей и ранговых причинах, в основе которого будет лежать наше наступившее событие. На рис. 3.6 представлено такое дерево, состоящее из шести первопричин, в результате которых мы долж-

ны получить некоторое событие в настоящем. Варианты дерева (см. рис 3.6, а) и дерева (см. рис 3.6, б) отличаются только парой связей: 456, 6 и 45, 56, соответственно. Но в результате событие $A \equiv 1,2,3,4,5,6$ и событие $B \equiv 1,2,3,4,5,5,6$ будут совершенно разными. Таким образом, мы уходим от абстракции будущего в пользу конкретики, предшествующей настоящему. Расплата за конкретный прогнозированный выбор видится в качестве однопавленности событий в промежуток времени между прогнозом и настоящим, т.е. в период $\delta\tau = (\tau_1 - \tau_2) \rightarrow 0$. Стремление к нулю не обязательно означает условие $\delta\tau = 0$, и изначально предполагается соблюдение условия (3.2). То есть, существует некоторый промежуток времени, в течение которого осуществляется переход от неопределенности к определенному событию.

Событие может быть следствием разных сочетаний причин и их связей. Например (рис. 3.7), событие I, маркированное как 1234456, является следствием корневых причин 1234 и 456, либо корневых причин: 123; 4 и 456. А событие II, маркированное похожими корневыми причинами 1, 12 и 3456, может иметь вид 1123456, то есть быть совершенно иным. Таким образом, одни и те же первопричины 1, 2, 3, 4, 5, 6 способны на прогнозируемом этапе при $\tau_2 \gg \tau_1$ приводить к отличным корневым причинам и давать самые различные прогнозы относительно формирования событий.

Анализ вариантов дерева причинно-следственных связей и соответствующих первопричин — это процесс прогнозирования, который состоит из объединения вариантов уже случившихся событий, которые уже записаны в прошлом, как свершившиеся когда-то и поэтому подлежат предварительному изучению. Получаемые корневые причины должны быть основанием для прогнозирования конкретного события в ближайшем будущем. Природа делает эти логические действия мгновенно, на протяжении интервала $\delta\tau \rightarrow 0$. Человек должен иметь несколько больше времени для этого. Для него должно существовать условие (3.2). Это реально, если пользоваться алгоритмом, основанным на энтропии рисков и признаках неоднозначности, то есть бифуркации и теории катастроф.

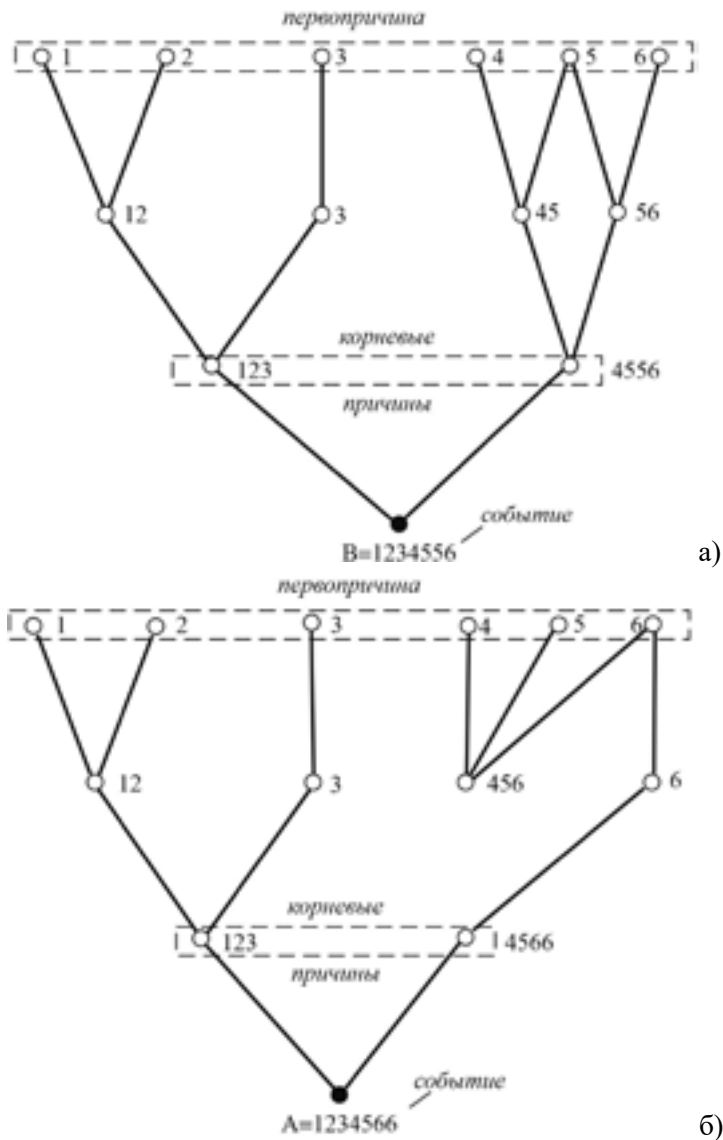


Рис. 3.6 — Дерево причинно-следственных связей, первопричин и корневых причин события, как основы для выбора

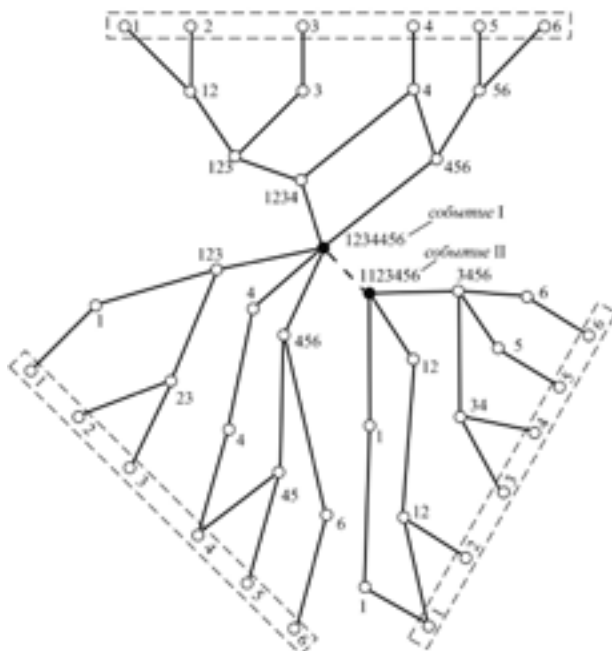


Рис. 3.7 — Сопряженные (1234456) и несопряженные (1123456) причинно-следственные связи, дающие прогноз развития события, предшествующего появлению риска в системе

Такая интерпретация риска может иметь право на существование, хотя бы потому, что с ее помощью можно количественно оценивать такое важное состояние системы, как ее неопределенность, а значит, риски, включая, при этом, и частные вероятностные механизмы их оценки. Люку Кемпу, ученому по рискологии катастроф, принадлежит термин «множитель экзистенциального риска», которым объясняется суперпозиционирование (наложение) единосмысловых событий, усиливающих эффект от риска. Можно показать, что количество потенциальных событий в корневом объеме определяет такой множитель. В примере (см. рис. 3.2) такой множитель равен единице. В случае, описанном на рис. 3.4, он равен двум, но может быть и более двух, в зависимости от количества корневых причин в прогнозе. По мере

приближения предполагаемых событий к корневому уровню на орграфе множитель риска может либо уменьшаться за счет конкретизации условий, сопровождающих прогнозируемые события, либо будет расти, в зависимости от суперпозиционирования этих же событий, если они имеют одинаковые причинно-следственные связи. Но это уже предположения из области достоверности информации.

Понятие события, его терминологическое и смысловое наполнение играют существенную роль в понимании риска в известных нам системах. Для всей цепочки логических рассуждений этот факт станет решающим, альтернативным в понимании термина «риск», потому что увлечет его от устоявшихся и не всегда удобоваримых вероятностно-статистических методов анализа рисков.

Рассматривая понятие риска, следует познакомиться с известной в экспертных кругах концепцией недопустимости событий. Это всегда выбор между допустимым событием, нежелательным событием и недопустимым событием (табл. 3.3).

Таблица 3.3 — Иллюстрация концепции недопустимости событий, как основы формирования риска

№ п/п	События		
	Допустимые	Нежелательные	Недопустимые
1	Наглотаться воды при купании	Наступить на рыболовный крючок	Утонуть
2	Неудовлетворительная текущая оценка в вузе	Неудовлетворительная оценка на экзамене	Отчисление из вуза за неуспеваемость
3	Пеня за просрочку платежа	Штраф за нарушение	«Долговая яма»
4	Ушиб пальца	Перелом руки	Травма позвоночника
5	Потеря кошелька	Обесценивание курса акций	Потеря контрольного пакета акций
...	...	...	...

Эта концепция, по мнению многих, носит объемный или всеобщий характер. Даже на уровне отдельного индивида. Он всегда взвешивает для себя — что ему важно, без чего он может обойтись, и что для него недопустимо. Это является постоянным состоянием человека — взвешивать, оценивать все то, что возможно, допустимо или недопустимо.

Нас в большей степени интересуют события недопустимые, потому что именно они являются основой для появления риска, как фактора, предшествующего ущербу или опасности для жизни человека, как фактора невозможности. Риск допустимых или нежелательных событий тоже имеет право на существование, но такие риски не являются критическими, приводящими к невозвратным последствиям.

Недопустимое событие — это событие, которое делает невозможным достижение стратегической цели или наносит безвозвратный ущерб системе, человеку. Такое событие оценивается весьма субъективно. Фактор недопустимости может изменяться в зависимости от субъектности эксперта, его квалификации, политического пристрастия и др. То, что для одного является недопустимым, другой воспринимает как обычность. Существует понятие пороговых значений при квалификации недопустимости. Для одного потеря 10 грн — это недопустимость, а для другого кошелек с \$1000 находится в пределах допустимого. И т.д.

Для нас важна взаимосвязь недопустимости события с риском, с опасностью наступления такого события, с ущербом, связанным с такой недопустимостью. Если посмотреть на вектор развития опасности в направлении от допустимого к недопустимому (см. табл. 3.3), можно судить о тесной взаимосвязи риска и недопустимости события.

И в заключение рассмотрим вопрос о восприятии времени, как субъективной парадигме для конкретного человека в связи с рассмотрением в совокупности временной и событийной шкал для индексации рисков.

Важным показателем временно-событийной шкалы является процесс восприятия времени и связанных с ним событий самим человеком, который базируется не на внешних, а на внутрен-

них индикациях, например, смена возбуждения — торможения центральной нервной системы, периодические и обоснованные изменения в составе крови в зависимости от ритмов организма и реакция нервной системы на эти изменения. Мы не будем вдаваться в исследования того, что называется «биологическими часами», «внутренним временем» и подобной тематики, которые освящены именами великих — И. П. Павлова, К. Питетендриха, Ю. Ашоффа и др. Обратим внимание только на то, как внутренние механизмы времявосприятия, так называемое «внутреннее время», реагируют на прогнозируемые отрезки времени, то есть на отсчет времени будущего.

Реакция человека на возможные будущие отрезки времени связана, в частности, с привычками конкретного индивида, со способностью к проявлению усталости, как защитного механизма, связанного с периодическими биологическими процессами в самом организме — дыхание, прием пищи, воды, реакции на тепло и холод, физическая активность и расслабление определенных групп мышц перед или во время сна. Субъективное время зависит от скорости обработки мозгом результатов события. Психолог Дж. Дж. Ларис показывал, что события, интересные для человека, по времени воспринимаются как более длительные. Неинтересные события по времени протекают как бы быстрее. Чем событие опаснее для человека, тем эта скорость выше. Чем старше человек, тем эта скорость ниже. Участие в экстремальных событиях резко замедляет течение времени для человеческого мозга, скорость обработки мозгом внешних сигналов резко увеличивается. Время как бы уплотняется.

Известная поговорка: в молодости время еле тянется, в старости время быстро бежит, — имеет под собой чисто биологическое обоснование. Эти и многие другие параметры способствуют существенному различию «внутреннего времени» будущего для самых различных людей, в том числе, и в зависимости от возраста организма. Предполагаемая событийность, кроме сценария самого события, последовательности причинно-следственного событийного ряда, определяется еще и временным промежутком, в течение которого это конкретное событие будет происходить.

Разные люди определяют его по-разному. От этого зависит «плотность» цепочки предполагаемых событий и конечное время его прогнозируемого наступления. Все эти понятия лежат в плоскости так называемого «внутреннего времени», индивидуального для каждого человека, и через него связаны с восприятием риска для отдельного человека.

Следует сразу отметить, что эта динамика является сугубо субъективной и находится вне реального отсчета времени. В этом понимании, в качестве реального инструмента оценки наступления рискового события выступает конкретный человек, занимающийся такими прогнозами и предупреждениями. На самом деле, такие механизмы определения рисков давно существуют и носят название: человеческий опыт, как сумма знаний о прошлом прогнозируемой системы, особенности ее эксплуатации, навыки и удобства, привычки. На самом деле, мы встречаемся с одним из способов синхронизировать ощущение внутреннего времени конкретным человеком, в зависимости от суммы знаний, которыми он владеет, его субъективного времявосприятия и дальнейшего прогноза возможных рискованных событий. Возможно, именно поэтому, в упрощенном варианте это времявосприятие оценивается в зависимости от того, кто представляет такой прогноз — опытный специалист или молодой новичок, профессионал или безграмотный работник. И, как правило, чаще соглашаются с экспертной оценкой более опытного, профессионального человека. Это и называется учетом субъективного времявосприятия в системе прогнозирования рискообразования для конкретной системы.

Можно осторожно утверждать в данном случае, что если время настоящее и прошедшее является строго хронологизированным, то время будущее есть производная от субъективного времявосприятия каждого человека и воспринимается человеком по-разному. Цепочки событий, с которыми нам приходится иметь дело в различных временных интервалах, также имеют различную «длину», последовательность и событийную очередность. Ограничивающим фактором при этом остается только логическая причинно-следственная последовательность, организующая эту систему.

Этот непростой механизм, определяемый физиологией самого человека, как это ни удивительно, лежит в основе событийного риска и может являться объективным способом его определения.

Он может проявляться самым неожиданным способом, но, тем не менее, является вполне объективным.

Что такое внутреннее время, лучше понять на некоторых примерах, взятых нами из [37].

В 1973 году рабочий В. М. Медведев из Севастополя наблюдал в замедленном виде быстропротекающий процесс работы сверлильного станка, работающего со скоростью 260 об/мин. В какой-то момент он вдруг увидел, как второй работник слегка коснулся сверла тыльной стороной правой руки, одетой в рукавицу. Сверло... приклеилось к рукавице и медленно-медленно стало ее наматывать. Работник попытался плечом надавить кнопку, но промахнулся. Сверло продолжало медленно вращаться и выворачивать ему руку. Медведев, наблюдавший это, как бы со стороны, медленно поднимает руку и надавливает на кнопку отключения. Сразу ворвался шум и грохот цеха. Чтобы оторвать руку на таком станке, достаточно одного-двух оборотов, однако, после нажатия кнопки, по мнению Медведева, сверло повернулось примерно на $\frac{1}{2}$ оборота. Расчет таков: это заняло $\frac{1}{8}$ – $\frac{1}{9}$ секунды, а субъективно длилось 25–30 с.

Весной 1976 года 12-летний подросток следил за игрой дворовой хоккейной команды. Неожиданно услышал крик «Лови!» и увидел, как нападающий хлестким ударом посылает резиновую шайбу прямо ему в лоб. «Я четко видел, как шайба не летела, а буквально ползла по воздуху. Могу сказать, что скорость ее было не больше 1 метра за минуту! Она приближалась ко мне, несколько минут я любовался ее полетом, потом ноги мои как бы сами собой подкосились, я чуть пригнулся, ... и шайба как бы сорвалась с места, почти мгновенно пролетела рядом, ударилась о стенку и отлетела обратно — с обычной скоростью для шайб или даже еще быстрее!»

Субъективность внутреннего времени подтверждается, например, таким качеством организма, как накапливаемый страх,

стресс, связанные с потенциальным риском. Чем сильнее проявляются эти качества, тем больше ускоряется (растягивается) внутреннее время, обеспечивая появление дополнительных ресурсов для принятия решений. В опасных ситуациях в организме вырабатывается адреналин, который помогает концентрации внимания и сил, усилий, чтобы выжить. Известное наблюдение: такое событие, как падение с высоты, человеком воспринимается как более длительный процесс чем это есть на самом деле. Здесь речь может идти о вполне объективном параметре — человеческой реакции на скоростные процессы, что субъективно воспринимается как иное времявосприятие.

В последующем, после пережитого стресса организм расслабляется, и субъективное внутреннее время синхронизируется с реальным. Шок, в котором находится организм после прошедшей опасности, — это, собственно, и есть механизм такой синхронизации. Количественные показатели, способствующие проявлению опасностей и связанного с ними риска, не ограничиваются этими понятиями и более широко рассмотрены в медицинской и другой литературе. Мы рассмотрим несколько иной аспект рискообразования.

Риски в понимании событийности явлений, предшествующих им, тесно связаны с энергетической составляющей исследуемых систем. Исключить энергию из смыслового наполнения понятия риск было бы неправильно. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

ГЛАВА 4

СОБЫТИЙНЫЕ РИСКИ С ПОЗИЦИЙ ЭНТРОПИЙНОСТИ СИСТЕМ

В природе существует еще один параметр, однонаправленность действия которого не подвергается сомнению. Так же, как не подвергается сомнению его взаимная зависимость со шкалой времени. Это именно энтропия. В работе [1] подчеркивается, что ход времени тесно связан с диссипацией энергии. Это не всегда согласовано, например, в инерциальных системах. Тем не менее, важна указанная связь. Иногда энтропию изменения называют способом отличить прошлое от будущего.

Мы предлагаем отличать термодинамическую шкалу времени и энтропийную шкалу событий. Первая относится к однонаправленности времени и соответствующей ему неупорядоченности любой системы в равновесном состоянии. Энтропийная шкала событий, которая предлагается к рассмотрению в данной работе, должна быть сопоставима с событийной шкалой и относится к энергетическому наполнению каждого из событий этой шкалы. Энтропийная шкала событий несколько сложнее, чем термодинамическая шкала времени. Это связано с тем, что энтропия любого события во времени изменяется в зависимости от ее энергетической и информационной составляющих, а также в полном согласии с теоремой И. Пригожина о структуре энтропии, ее вектор не обязательно должен быть однонаправленным со шкалой времени.

Тем не менее, для нашей работы важно понимание энтропии, как меры временной неупорядоченности событий. Косвенным аргументом к такому рассуждению может служить, например, одна из известных и достаточно обоснованных гипотез о существовании времени, как производной от энтропии вселенной (Шон Кэрл — США, Калифорнийский технологический университет). Постулируется, что энтропия, как мера беспорядочности, растет с течением времени. Разница между прошлым и будущим заклю-

чается в изменении энтропии. Согласно этой гипотезе, энтропия служит поводом для изменения времени, а поводом для изменения энтропии является последовательность некоторых событий. Такая обобщенная гипотеза может быть конкретизирована для предмета наших исследований в контексте линии «риск — событие — энтропия — время».

Таблица 4.1 — Типичные системы, соотносящиеся со стандартными изменениями энтропии

№	Типичные системы и процессы	Состояние энтропии	Состояние системы
1	Термодинамически замкнутые системы, технические системы, искусственные технологические процессы, молекулярные системы, живые организмы	$S > 0$; $\Delta S > 0$ $\Delta N_s \rightarrow 0^*$	Термодинамическая равновесность, неопределенность, хаотическое состояние, отсутствие информации, энергетическая рассогласованность, рост энтропии
2	Термодинамически открытые системы, природные технологические процессы, мозг человека, нервная система, математические знания, логические процедуры, космические системы	$S = \min$ $\neq 0$ $\Delta S = 0$; $\Delta N_s > 0$	Неравновесность, отсутствие хаоса, упорядоченность, внешняя организованность, максимальная информативность, энергетическая согласованность
3	Термодинамически открытые системы, подсистема для открытой системы, живые организмы в состоянии метаболизма, мозг человека, сознание, творческие результаты, космические системы	$S \geq 0$; $\Delta S < 0$; $\Delta N_s \rightarrow \max$	Самоорганизация, упорядоченное и заверщенное развитие, полный объем информации, энергетическая согласованность, убыль энтропии

Здесь * — изменение негэнтропии для связанной информации в системе (пояснения см. ниже).

Второй закон термодинамики постулирует неубывание энтропии при любых условиях существования изолированной системы. В такой системе это безусловный факт, а для открытых систем его следует различать через призму энергетического обмена с внешней средой, с надсистемами. Кроме естественного возрастания, все другие изменения энтропии связаны, как правило, с двумя действиями: либо с относительным торможением роста энтропии в системе, либо с перераспределением энтропии из данной системы во внешнюю систему, увеличивая энтропию этой надсистемы и, таким образом, обеспечивая уменьшение энтропии в исходной системе (табл. 4.1). И в первом, и во втором случае вектор однонаправленности неубывания энтропии остается неизменным.

4.1. Термодинамическая энтропия как показатель событийного риска

И снова обратимся к работам академика Н. А. Козырева. В природе существуют постоянно действующие причины, препятствующие возрастанию энтропии, а значит, способствующие организованности системы. Одна из причин этого, частным образом, находится в понимании некоторых несимметричных свойств в причинной механике. Эти свойства могут быть определены, как направленность или ход как во времени, так и в событийности, в информации, в энтропии [2].

Закон Больцмана, описывающий поведение энтропии как изменение вероятности повторяемости событий, мог бы состояться как всеобщий закон эволюции, если бы не существовала пресловутая неопределенность, связанная со «стрелой времени» в рассматриваемом нами промежутке δt между событием, предполагаемым в ближайшем будущем и наступившим сейчас.

Согласно формуле Больцмана, энтропия есть мера вероятности упорядоченного состояния некоторых частиц и определяется как $S \sim k \cdot \ln(n)$, где n — вероятностная характеристика состояния этих частиц, число способов их существования. Соб-

ственно способы существования частиц в микромире — это зависимость от вереницы событий, которые определяют такие состояния частиц. Мы будем различать собственно частицы и те события, которые определяют их состояние. Открытая система использует внешнюю или внутреннюю энергию, часть которой расходуется на формирование состояния этих частиц полезно, системно, а часть теряется в виде возрастающей энтропии. Общее положение о негэнтропии показывает, что система, стремящаяся к организованному развитию, должна импортировать внешнюю энергию, превращая часть ее в эксергию, а часть — в энтропию, но при этом она стремится и экспортировать во внешнюю среду максимально возможное количество собственной энтропии, тем самым максимизируя свою негэнтропию, а также, за свой счет, энтропию внешней среды. Эти два взаимно противоположных процесса характерны для абсолютного большинства незамкнутых систем, надсистем, в которые они входят, и их показателей. Еще раз подтвердим, что в этих отношениях нас интересует событийная линия, которая является основой для тех или иных состояний самих частиц. Безусловно, сложным является переход от закономерностей микромира к закономерностям макромира. Тем не менее, жертвуя частью достоверности, в различных случаях это может представляться возможным. Во всяком случае, для численного значения таких событий. При этом очевидна зависимость энтропийной динамики от частоты событий в некоей их ретроспективе.

С такими допущениями можно считать, что высокая повторяемость события в прошлом имеет низкие возможности для риска в настоящем. И наоборот. Редкая повторяемость события в прошедшем времени дает высокую степень риска, например, связанного с опасностью для системы. Чем реже происходит событие, тем более высокими являются связанные с ним риски. Но даже подобная частотная характеристика не является полным отображением понимания риска для системы. Потому, что в промежутке условной неопределенности происходит нечто подобное бифуркационному выбору, результат которого зависит от многофакторного предпочтения в области бифуркации. По-

иску связей энтропии и риска для жизнеобеспечения человека посвящены работы [3, 4, 5].

Ранее мы отмечали, что все события, отображающие некоторые действия над материальными предметами, так или иначе, всегда связаны с потреблением энергии и, таким образом, подчиняются термодинамическим законам. Мы можем сослаться на этот тезис, рассматривая связь энтропии и риска. И не только.

В упрощенном варианте возрастание энтропии ΔS системы — это количественная мера неупорядоченности, которая определяется числом допустимых событий (C) относящихся к системе. Т. е. $\Delta S \cong \ln C$ (здесь $C \neq n$ как несопоставимые по определению величины). Энтропия системы тем больше, чем больше допустимых вариантов состояния этой системы из будущего, и связанных с ними событий, которые определяют эти состояния в предшествовании к настоящему. Значит, для времени будущего число неопределенных событийных состояний $C_B \gg 1$, а для настоящего времени существует только одно, вполне определенное событийное состояние $C_H = 1$, которое сейчас происходит. Переход от $C_B \gg 1$ к вполне определенному $C_H = 1$ осуществляется в момент времени $\delta\tau \rightarrow 0$, предшествующий настоящему T_n . Поэтому всегда выполняется логическое условие $\Delta S_B \gg \Delta S_H$ (рис. 4.1). И риск получить от будущего вполне определенное событие всегда связан с величиной $(\Delta S_B - \Delta S_H)/\Delta S_B = 1$ при переходе от рискованной неопределенности к определенному событию настоящего. Подобные выкладки могут привести к тому, что станет реальностью состояние системы, для которой утверждается, что $R > 1$. Это противоречит логике теории вероятности (см. рис. 4.1).

Это же подтверждается следующими рассуждениями. Допустим поток информации J_j , характеризующий событие j зависит от сил X_j , определяющих остальные взаимодействующие события или процессы, а объединительная функция диссипации связана с этим параметром зависимостью Л. Онсагера: $\sigma = \sum_{j=1}^n B_j J_j X_j$. Это функция диссипации и обмена энтропией между взаимосвязанными событиями в условиях слабой термодинамической неравновесности.

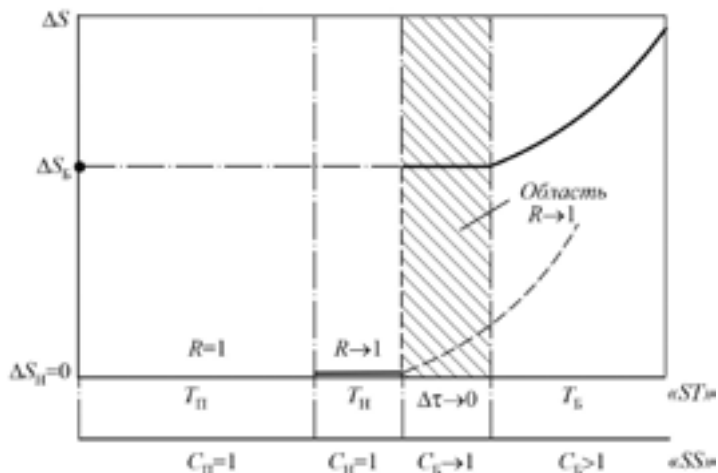


Рис. 4.1 — Энтропия риска в соотношениях временного «ST» и событийного «SS» измерений

Величина энтропии может показывать на степень упорядоченности системы, в которой происходят некоторая последовательность взаимосвязанных событий. Согласно Л. Бриллюэну степень упорядоченности Y во времени определяется разностью между максимальным $\Delta_e S_{max}$ и текущим $\Delta_e S$ значениями энтропии энергетического обмена между событиями и внешней средой: $Y(\tau) = \Delta_e S_{max} - \Delta_e S(\tau)$. Степень разупорядочения X системы во времени определяется как разность между текущим $\Delta_e S$ и минимальным $\Delta_e S_{min}$ значениями энтропии такого обмена $X(\tau) = \Delta_e S(\tau) - \Delta_e S_{min}$.

Степени упорядочения и разупорядочения связаны с неоднозначными параметрами исходной системы и, как правило, затруднительны к сопоставлению. В этом случае [6], следует переходить на относительные показатели оценки степени упорядочения системы, например, соотносимых с показателями X и Y во времени, и отнесенными к общему масштабу изменения энтропии $\Delta_e S_{max} - \Delta_e S_{min} = \Delta$. Тогда относительная величина для показателей упорядочения и разупорядочения при соблюдении очевидного условия $K_Y + K_X = I$ может иметь запись

$$K_Y = (\frac{\Delta_e S_{\max}}{\delta\tau} - \frac{\Delta_e S(\tau)}{\delta\tau}) / \frac{\Delta}{\delta\tau}, \quad (4.1)$$

$$K_X = (\frac{\Delta_e S(\tau)}{\delta \tau} - \frac{\Delta_e S_{\min}}{\delta \tau}) / \frac{\Delta}{\delta \tau}. \quad (4.2)$$

Основной параметр — относительная величина изменения локального удельного потока энтропии обмена системы с внешней средой в различные периоды времени.

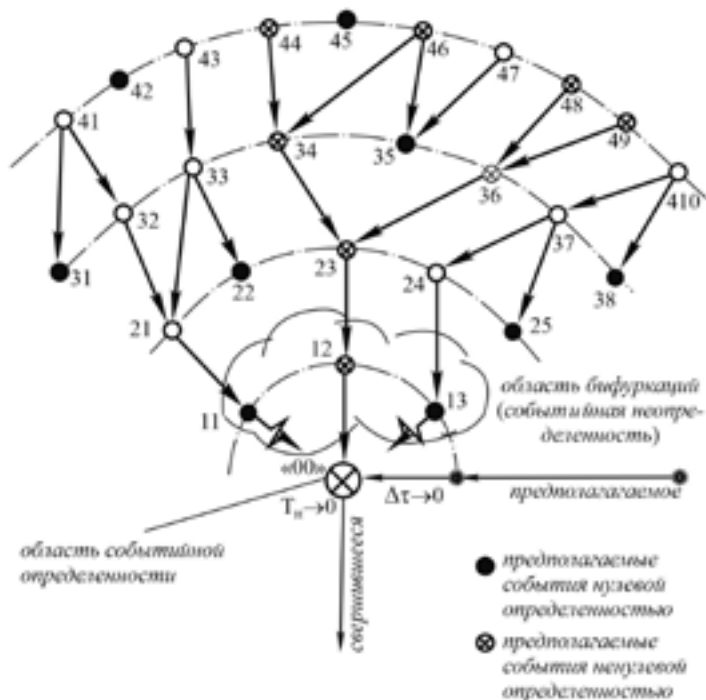


Рис. 4.2 — Ориентированный граф отображений предполагаемой событийности и причинно-следственных связей $[J(j = 0, 1, J) \rightarrow Q(q = 1, 1, Q)]$ между событиями, находящимися в предположении к некоторым равнозначным условиям.

Уточним рис. 4.2, представленный ранее в этой работе и перенесенный в эту главу для удобства прочтения из третьей главы.

Структурная иерархия событий, описанная здесь, предусматривает, что на каждом событийном уровне, для каждого предполагаемого события существует своя удельная энтропия $\Delta_j, qS(\tau)$, где $j(0,1,4)$, $q(1,1,10)$, определяемая согласно закону Шеннона и рассчитываемая в зависимости от суммы информации, которая связана с конкретной последовательностью взаимосвязанных событий в некотором временном интервале. Расчетные значения показателей K_Y и K_X в некотором временном интервале, записанном для удобства параметрической зависимостью $\tau^* = 100 - \tau$, таким образом, чтобы соблюдались отношения разнонаправленности шкал «ST» и «SS» представлены на рис. 4.3. Взаимная противоположность однонаправленности стрелы времени и энтропии, с одной стороны, и шкалы событий, с другой, подчеркивается их основными свойствами, описанными выше. Для стрелы времени и энтропии — это последовательность и неизбежность наступления последующего времени, последующего рассеяния энергии или информации или др. Для шкалы событий — это неопределенность и палиативность еще не наступивших состояний системы или ее частей, или составляющих частиц.

Для случая (см. рис. 4.2) исследованию подлежат 10 событий из числа избранных для мониторинга с периодичностью один раз в 5 суток на протяжении 100 дней. Для каждой цепочки событий производится расчет относительной величины изменения локального удельного потока энтропии за указанный период времени, определяется минимаксный диапазон и рассчитываются значения показателей K_Y и K_X . С увеличением относительной величины изменения энтропии в сторону возрастания величина показателя упорядочения уменьшается и, наоборот, значение показателя разупорядочения растет. Следует отметить, что изменение относительной величины локального удельного потока энтропии для конкретной цепочки событий имеет явно нестационарный характер и зависит от множества, на первый взгляд, случайных причин. На самом деле, событийные цепочки связаны своими причинно-следственными отношениями, что делает их узнаваемыми, и расчет энтропии для каждой из них вполне предсказуемый.

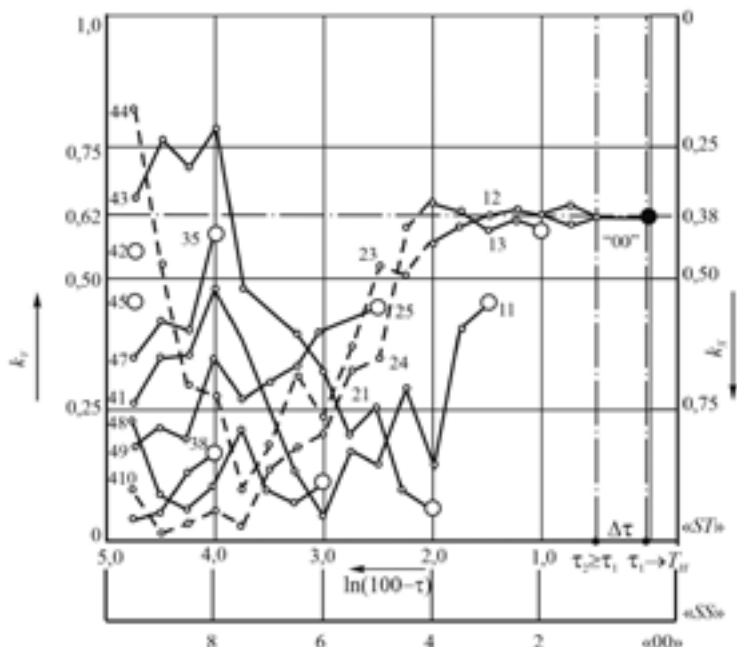


Рис. 4.3 — Взаимодействие и взаимоотношения в динамике изменяемых показателей энтропийного упорядочения в масштабах шкал «ST» и «SS» соответственно

Динамика относительной величины изменения энтропии отдельных событий от состояния хаотического к упорядоченному отслеживается, в частности, по следующим цепочкам $44 \rightarrow \dots \rightarrow 23 \rightarrow 12 \rightarrow \langle 00 \rangle$ и приводит к однозначному событию «00», являющемуся рискообразующим. При этом выделенная величина показателя упорядоченности составляет $K_Y = 0,62$. В этих же отношениях была и другая цепочка предполагаемых событий $410 \rightarrow 24 \rightarrow 13$. Однако, она, и все другие цепочки, представленные на рис. 4.3, не привели к реальному рискообразованию вследствие явно нестабильного значения коэффициента. Остальные событийные связи, представленные на рис. 4.2, не оцифрованы здесь только по причине плотности рисунка, но могут быть прослежены читателем самостоятельно при сравнении

рис. 4.2 и рис. 4.3. Общий вывод состоит в том, что энтропия, как мера упорядоченности или разупорядоченности в событийной информации, может представлять собой вариант предположительности в причинно-следственных отношениях между событиями, предшествующими появлению реального риска.

Классическая оценка последовательности событий, связанных с появлением риска, как вероятностной модели, в некотором пределе, есть не что иное, как вычисление бифуркационной неопределенности в момент времени δt , предшествующий настоящему времени T_n (см. рис. 3.1, глава 3). Именно поэтому стоит обращать внимание, в частности, на частотную интерпретацию понятия вероятности. Такой подход может быть более актуальным для определения риска событий в момент времени, предшествующий настоящему. Сравним: в классической интерпретации понятие вероятности определяется, как отношение количества результативных состояний, соответствующих данному событию, к общему числу равновозможных состояний. В частотном определении понятия вероятности, данной Л. Мизесом — это предел относительной частоты состояния некоторого события в общей совокупности однородных независимых событий. Эти определения никак не связаны со временем наступления события.

Недостижимость предсказуемости является одним из природных постулатов, на основе которого появляется понимание неопределенности будущего и соответствующего ей риска. Преодолимое отличие заключается в том, что будущее является непредсказуемым, а настоящее — вполне определенным. Риск во временной интерпретации является параметром будущего. Критерием такого преодоления может стать только практика свершившегося в виде «накопительной емкости событий», что уже произошло, ее изучение, экстраполирование на будущие неопределенности.

Продолжительность неопределенности определяет переход от событийной неоднозначности предполагаемого к наступившему однозначному и, с равной достоверностью, содержит фрагменты и свершившегося, и неопределенного. Пограничная продолжительность неопределенности — это фактическое время бифуркации (δt). То есть мы должны перейти от состояния наступающей во

времени бифуркации к состоянию настоящему и вполне определенному. Состояние бифуркации, например, в виде типичной сборки Уитни (существует принципиальная возможность для еще нескольких видов катастроф, в частности, складки типа $\Delta V = x(x^2 + a)$, ласточкиного хвоста типа $\Delta V = x(x^4 + ax^2 + bx + c)$ и др.) дает в области неопределенности два-три вполне конкретных представления в виде некоторых альтернативных событий. Эти рассуждения легко перенести на понятие риска.

Поясним.

Допустим, мы имеем дело с событием, которое наступает с вероятностью 10% или 0,1 (табл. 4.2). Например, это риск двузначного события «0;1». Согласно понятию вероятности, одно из десяти событий на протяжении некоторого времени должно попасть на «1». Но, допустим, что на первом же свершившемся событии мы сразу получили «1». Последующие девять раз, согласно теории вероятности, «единица» выпадать не должна. Следующий вариант: событие, обозначенное как «1», произошло во втором случае из десяти. Остальные восемь последующих попыток теоретически не должны давать результата «1». И т. д. Матрица утвердительных случаев дает нам известный результат нормального распределения Гаусса, когда наибольшей вероятностью события «1» становится пятая-шестая позиция из десяти.

Но это означает, что теперь уже с вероятностью 20% или 0,2 можно принимать вариант «1» во временном интервале, уменьшенном вдвое, и получить ту же частоту события. Только Гауссова вершина в нормальном распределении будет располагаться уже на уровне третьего вбрасывания из пяти. То есть каждые новые поступки при сериях выбранного события приводят к удвоению вероятности его получения. Очевидно, что через несколько одинаковых по объему серий таких опытов вероятность наступления события для одной попытки приблизится к 100% или 1,0. При этом практически теряется причинно-следственная связь, дающая механизм реализации данного рискованного события и время его наступления. В природе такие действия осуществляются почти мгновенно в течение того самого промежутка $\delta\tau = (\tau_1 - \tau_2) \rightarrow 0$, о котором мы упоминали выше.

Таблица 4.2 — Матрица смежности для эксперимента с вероятностным выбором

Число случаев «1»	Результат вбрасывания при вероятности события 10%										Число попыток
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	32
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	98
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	375
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	320
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	87
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	43
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	16
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
ВСЕГО											1000

В действительности, с вероятностью проявления рискового события так случаться не может по какой-либо из многих причин, связанных с существованием ситуации неопределенности. Эта ситуация должна быть приложена к моменту времени между прошлым и настоящим (см. рис. 3.1, глава 3). Последующая за этим определенность наступившего события — это уже результат бифуркационного выбора происшедшего в момент неопределенности (см. рис. 4.2, а также рис. 3.4, глава 3). Это становится возможным только благодаря «стреле времени», а именно, ее однонаправленности и связанной с ней однонаправленности изменения энтропии системы.

Очевидно, что энтропия, как мера рассеяния энергии, есть показатель динамизма системы. Чем меньше установленная и зафиксированная во времени мера рассеяния энергии, тем система более ориентирована на последовательную структуризацию, проявление новых системных качеств, препятствующих появлению

неопределенности. И наоборот. Чем более значительным является рассеяние энергии, тем более система стремится к стабильности, равновесию, устойчивости в ущерб системности и упорядочению. Эти показатели имеют, как правило, двойственное толкование. Например, устойчивость системы с максимальной энтропией и устойчивость системы с минимальным ростом этого показателя отличаются своим отношением к процессам развития. Первая теряет способности к саморазвитию, а вторая, напротив, имеет возможности к перераспределению энергии внутри системы и вне ее, таким образом, чтобы в ней появлялись новые качества и свойства, ранее ей не присущие.

Это же относится к такому показателю системы, как риск, связанный с ее существованием и работой. Формально в координатах $R = \psi(\Delta S)$ впервые встречаются взаимозависимые характеристики: риск и энтропия. Основное их качество состоит в крайней неопределенности такой зависимости. Пока в литературе не нашлось объективных публикаций на эту тему, да и сам вопрос о взаимодействии риска и энтропии системы рассматривается только в обобщенных терминах [7, 8, 9, 10]. Требуется понимание, что определяющей координатой для них может быть не только время, его «стрела», как универсальный показатель, присутствующий в такой координатной сетке, но и последовательная шкала предполагаемых, наступивших и свершившихся ранее событий. Сама бифуркация таких событий, предшествующая настоящему времени, становится показателем риска системы.

4.2. Связанная информация как показатель энтропии событийного риска

Связанная информация как характеристика системы, в частности, ее упорядоченности, организованности, существует вполне объективно. Она имеет собственные рамки достоверности и в этих рамках может являться показателем любого из многообразия знаний о состояниях данной системы, определяющих ее поведение как в динамике, так и в любых других возможных их проявлениях.

Применительно к событийным рискам это может иметь следующий смысл. Если событие «здесь» (в пространстве) означает 0, а событие «там» означает 1, это значит, что, если событие переходит на уровень «там», то оно изменит свое информационное наполнение. Аналогично, если событие в момент времени τ_1 означает 0, а в момент времени τ_2 означает 1, это значит, что при переходе на новый временной уровень событие изменяет свое информационное наполнение. Если это информационное наполнение связано с проявлением риска в данном событии, то все изложенное относится к рискам. То есть, риск, как метка события, является его информационной составляющей, и все относящееся к информационному наполнению в виде 0 или 1, относится к рискованной составляющей этого события. Мы видим, что и в данном случае риск события обозначается вполне определенно и никак не связан с его вероятностно-статистическими параметрами.

Рассмотрим вторую из упоминаемых выше сторон взаимосвязи риска и событий, связанных с ним с позиций энтропийности. А именно, информационную. В случае с событийными рисками информацию следует учитывать, как результат ее влияния на структуру воспринимающей системы, то есть, человека. Такая информация носит название связанной, то есть ориентированная на конкретный объект или событие. Она повышает упорядоченность составляющих системы и способствует росту числа воспринимаемых составляющих. Причем здесь уже информация является функцией состояния системы, в данном случае — состояния, в котором находится событие. Поэтому такую функцию называют однозначной характеристикой для системы, воспринимающей эту информацию [11, 12].

Сошлемся на известное: достоверность информации есть одна из форм организованности системы [12]. В свою очередь, повышение степени организованности системы всегда связано с ее неравновесностью по отношению к используемой в системе энергии. Небезосновательно утверждение, что неравновесные системы всегда более организованы, чем равновесные, и обладают меньшей энтропией [3].

Любое событие для человека является носителем информации о себе, чем связывает эти две системы — человек и событие. Для человека это информация о сущности события и его последствиях для себя и окружающей среды. Человек, как, впрочем, и вся Вселенная, не может существовать вне каких-либо событий. Но и событие, по мере реализации, требует человеческого восприятия. Реакция человека на события осуществляется опосредовано через его восприятие и обеспечивает его реакцию и поведение относительно этого события.

Событие может восприниматься субъективно, как положительное, отвечающее потребностям самого человека или окружающего его пространства, и как негативное, если оно несет для человека нарушение целостности или разрушение этого пространства или его части, нарушение здоровья человека или его гибель. Это зависит от смыслового или информационного наполнения таких событий. Если событие является из числа прогнозируемых, то его позитивный или негативный смысл может быть реализован или не может быть реализован в зависимости от изменения информационного содержания этого события и по мере приближения от некоторого времени прогнозируемого τ_k ко времени настоящему T_n .

Энтропия событийных рисков тесно связана с их информационным наполнением. Причем эта связь носит двуединый смысл. Энтропия событийного риска — это некоторое взаимоотношение между энергетической и информационной ее составляющими. Информационная энтропия — это своеобразный показатель, отвечающий за достоверность предсказания события. Она увеличивается по мере приближения к времени настоящему, если событие переходит в разряд неопределенных. И наоборот. Иными словами, информационная энтропия — это степень неосведомленности о состоянии прогнозируемого события. Термодинамическая энтропия рискообразующего события, напротив, отражает степень возможной физической деструкции, которую несет риск этого события при его реализации в настоящем времени.

Л. Бриллюэн представил «информацию, как отрицательный вклад в энтропию». Нас интересует именно эта составляющая

[13]. Дискуссия относительно принадлежности такой точки зрения только к микроинформации активно обсуждается (сошлемся, например, на рассуждения Г. Кастлера [14] или современную работу [15]) и не может быть системным препятствием к применению в некоторых макроинформационных системах.

Как и любое прогнозируемое действие, событие увеличивает свое информационное содержание по мере приближения к времени настоящему. При этом, согласно закону Шеннона, информационная энтропия такого «надвигающегося» события уменьшается по мере роста его достоверности. С другой стороны, если событие имеет рисковое предназначение, направленное на физическое разрушение системы, то его термодинамическая энтропия должна расти с приближением от прогнозируемого к свершившемуся состояниям. Ниже сошлемся опять на Л. Бриллюэна, чтобы показать объективность такого отношения.

Любое из предполагаемых событий в каждый момент времени может принять одно из конечного множества вариантов параметров своего состояния. Но это не случайные состояния. Они зависят от множества конкретных внешних факторов, которые сопровождают это событие и могут на него влиять. Для наших исследований конечный результат такого выбора — это состояние события: быть реализованным как рискообразующее или нет. Каждому такому состоянию события присваиваем информацию о его параметрах, которые влияют на его реализацию. Такие множества являются дискретными источниками информации и служат основанием для выбора конкретного события и его состояния с точки зрения потенциального риска.

Информация в системе, как и энергия этой системы, соотносима с понятием энтропии, как мерой собственного упорядочения — разупорядочения. Можно не согласиться с авторами [3, 12, 16] и снова показать, что формула сохранения Н. Винера в терминах неэнтропии, как меры упорядоченности: $I + \Delta S = const$ справедлива, если считать ее не в абсолютных значениях информации и энтропии, а, в том числе, в относительных ($\pm \Delta N_s + \Delta I = \Delta S_{min}$). На нерекуррентность предыдущей формулы наталкивает и несоответствие размерностей информационной

и энергетической энтропии, и тот факт, что обе эти величины рассматриваются только как положительные. Примирить их в таком виде могут только относительные или нормированные величины в динамической системе, приведенные к общему знаменателю, который должен быть общим для этих величин. Поскольку такого показателя эмпирически не существует по определению, принято вести расчет интегральной энтропии в рамках других относительностей. Тем не менее, не исключены условия, при которых обеспечивается одновременное состояние $S \geq 0$ и $\Delta S < 0$ при неизбежности $\Delta N_S \rightarrow \max$, приведенные в табл. 4.1, и они могут быть подтверждением формулы Винера для ограниченного, но объективного набора состояний системы.

Академик А. А. Красовский, в частности, применяет такой подход к методам управления динамическими системами. И. В. Прангишвили [3] идет еще дальше, паллиативно предрекая обобщенной информационно-энергетической энтропии роль всеобщего мировоззренческого закона, весьма неосторожно включая сюда социальные и многие другие системы, которые ранее не рассматривались в рамках законов общей термодинамики.

По своему определению, и изменяющееся количество информации ΔI как мера энтропии, всегда положительно (информация никуда не девается), и изменение замкнутой энтропии $\Delta S_{min} \geq 0$, тогда как их относительный рост или условное убывание обозначаются знаками $\pm$ и дают полное представление о взаимной связи энтропии и информации в рассматриваемой формуле. Примем точку зрения Л. Бриллюэна о том, что под некоторым показателем I_c понимается только связанная информация, то есть информация, имеющая упорядоченную определенность для конкретной системы, и в этом смысле дает понимание о предмете суждения, о негэнтропии системы, получающей эту информацию. В теории информации показано, что любая связанная информация (I_c) есть не что иное, как способ упорядочения системы, к которой относится эта информация.

Мера информационной неопределенности в таком случае может определяться формулой Шеннона для расчета меры упорядочения информации $\Delta I_c = - \sum_{i=1}^n (C_i \cdot \log_2 C_i)$, связанной

с некоторой событийной вероятностью ($C_i, i = 1, 1, n$). В теории информации формулу Шеннона часто сопоставляют с формулой Больцмана, подразумевая предмет анализа, как качественную меру упорядоченности теплового движения молекул последовательно в газовой, жидкой и твердой среде, равно как и качественную меру упорядоченности потока информации, символов, сравнивая смысловое наполнение последнего с энтропией. Чем более равновероятен информационный поток, например, абстрактных символов (порядок подразумевает смысловое наполнение символов), тем меньше энтропия такой информации. Еще более понимаемую связь между энтропией и информацией ищут приверженцы понятия информации, как процесса накопления общей негэнтропии, как базовой субстанции в любой энерго-информационной системе. При этом формула Н. Винера может читаться полностью через понятия энтропии и негэнтропии $\Delta N_S + \Delta S = const$, что важно для наших исследований.

Пользуясь терминами теории графов, событие может быть интерпретировано как функция φ для обеспечения перехода системы из состояния с обобщенными параметрами X состояние аналогичных параметров Y , с изменяющейся энергией и информацией в некотором временном интервале и записана в виде

$$\begin{aligned} \varphi: X(E_1, n_1, n_2, \dots n_i, \dots n_N, \tau_1) \rightarrow \\ \rightarrow Y(E_2, m_1, m_2, \dots m_j, \dots m_M, \tau_2). \end{aligned} \quad (4.3)$$

Здесь совокупность параметров X включают данные об исходном энергетическом состоянии системы E_1 в момент времени τ_1 и соответствующую информацию о состоянии параметров n_i собственно системы и окружающего ее пространства, а совокупность параметров Y отображает данные о результирующем энергетическом состоянии системы E_2 в момент времени τ_2 и измененную информацию m_j о параметрах этой системы и ее окружения. Таким образом, событие, обозначенное как функция φ , представлено некоторым изменением состояния рассматриваемой системы, в основе которого находится изменение ее энергетического состояния $\Delta E = E_2 - E_1$ в некотором временном отрезке

$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$. При этом, потребуем в равной степени, выполнение условий $\sum_{i=1}^N n_i = 1$ и $\sum_{j=1}^M m_j = 1$.

В этом случае событие принимает вид зависимости и от энергетического состояния системы, и от ее информации, что позволяет использовать законы энергоэнтропии и информатики для его описания.

Обобщенная энтропия рискообразующей событийной системы изменяется в зависимости от того, к каким событиям она относится. События можно рассматривать как либо потенциально обеспечивающие определенный физический риск в системе, либо события, которые не приводят к риску. С другой стороны события могут структурироваться в зависимости от индивидуальной вероятности их потенциального происхождения. Например, если мы рассматриваем достаточно большой прогнозируемых временной интервал τ_k то можно говорить о равной вероятности всех потенциальных событий для некоторого настоящего времени. С приближением таких прогнозируемых событий к времени настоящему их энергетическое и информационное содержание будет изменяться. Соответствующим образом, будет меняться и энтропия системы в целом, и энтропия составляющих ее частей. Такой анализ обещает быть эффективным, если существует необходимость выделения и выбора тех или иных рискообразующих событий.

В качестве примера опять возьмем вариант прогнозирования событий, представленный на рис. 4.2. Здесь событийные ряды представляют собой дискретный ряд, удобный для анализа.

В начале воспользуемся законом Шеннона и запишем, как изменяется энтропия такой системы в результате проявления события с некоторой функцией ϕ в указанных параметрических координатах (4.3), как мера неупорядоченности системы или мера неопределенности выбора события.

Если события в некотором временном интервале прогнозирования являются изначально равнозначными, то их вероятности по Шеннону сопоставимы между собой, например, на максимальном из выбранных временных расстояний. В данном случае, пусть это будет временной интервал $\tau_k \gg \tau_4$ (табл. 4.3). В этом случае

σ_p — это рост равновероятностной энтропии (безусловная энтропия, соотносящаяся с максимальной информацией о системе), для всех потенциальных событий в указанном прогнозируемом интервале времени составил $\sigma_p = \log_2 10 = 3,321$ и является максимально возможным для системы. С приближением событийного «фронта» к реальному времени ($\tau \leq \tau_4$) изменяются возможности для каждого из прогнозируемого события. Появляются условные избирательные выборки из тех событий, вероятности C_i которых наиболее высоки в данном временном интервале. Для них свободная информационная энтропия в избранной группе параметров $\sigma_{изб}^{max}$ определяется выражением $\sum(C_i^{max} \cdot \log_2 C_i^{max})$. Возможная величина энтропии находится в диапазоне $0 \leq \sigma_{изб} \leq \log_2 C$.

Нижний уровень соответствует полной определенности состояния рискообразующего события. Верхний уровень соответствует равновероятностному распределению для выборки событий в прогнозируемом будущем времени.

Разница получаемых параметров $\Delta\sigma_{изб}^{max} = \sigma_{изб}^{max} - \sigma_p$ — это показатель физического, потенциально рискообразующего события, и, одновременно, — показатель уменьшения роста избирательной энтропии при приближении к настоящему временному интервалу T_n . Аналогичным образом это относится к группе прогнозируемых событий в каждом временном интервале τ_k с минимальной вероятностью, в результате которой получаем $\sigma_{изб}^{min} = \sum(C_i^{min} \cdot \log_2 C_i^{min})$ и $\Delta\sigma_{изб}^{min} = \sigma_{изб}^{min} - \sigma_p$. Последний показатель относится к самому низкому уровню информативности произвольного события, и значит, характеризуется максимальной энтропией для данной группы событий.

Сводные данные по расчету представлены в таблице 4.3. В данном случае выбор основания логарифма не является существенным: 2, 10, e . Это зависит только от выбора масштаба для событийных параметров и размерности энтропии. При основании логарифма «2» мы можем выбирать размерность энтропии в *битах*. Безусловно, это не кельвиновские джоули энергетической энтропии, и они также требуют сопоставительной относительности этих величин.

Последовательность учетных событий из числа прогнозируемых следующая:

$$\overbrace{44; 46; 48; 49}^{\tau_4}; \overbrace{35; 36}^{\tau_3}; \overbrace{23}^{\tau_2} \overbrace{12}^{\tau_1} \quad (4.4)$$

Изменение энтропии в соотношении максимальных и минимальных ее значений для данной системы имеет вид искривленной линзы, у основания которых — одинаковые значения изменения энтропии для состояния вероятностной равнозначности (точка А, рис. 4.4) и для достижимого минимума энтропии (точка В, рис. 4.4). Состояние изменения энтропии в этом промежутке показывает на динамические процессы появления рискообразующих событий. Верхняя кривая относится к равновероятностному распределению потенциальных рискообразующих событий на некотором прогнозируемом временном отрезке $\tau_4 \div T_n$. А нижняя кривая — к их локальной избирательности при приближении к настоящему времени T_n .

Соответствующая группам (4.4) событий избирательная энтропия снижается с их приближением от бесконечного времени к моменту настоящего времени T_n (рис. 4.4, а). Это очевидно, потому что область снижения энтропии образуется за счет повышения информативности событийного фронта от прогнозируемого до фактического вне его относительности к рискообразующим свойствам. Однако разность между максимальной энтропией системы σ_p и энтропией избирательной группы таких событий, увеличивается, что свидетельствует о росте той составляющей событийной группы, которая приводит к реализации риска (см. рис. 4.4, б).

Такое понимание полностью соответствует негэнтропийному принципу деградации Л. Бриллюэна в тривиальной для данной работы записи $[-\Delta S + \Delta \sigma] \leq 0$, где $(-\Delta S)$ понимается как *изменение* термодинамической энтропии системы, а $+\Delta \sigma$ — как *появление связанной информации* о состоянии системы. Здесь «связанная информация представляет собой условно отрицательный вклад в энтропию» [17].

Таблица 4.3.— Сводные данные для расчета энтропийной динамики для прогнозирования
рискообразующих событий

№ п/п	Временной интервал (τ_k) порядковый номер события (i) и прогнозируемая событийная вероятность (C_i)											
	$\tau_k >> \tau_4$		τ_4		τ_3		τ_2		$\tau_1 = T_H + \Delta\tau$		$\tau_0 = T_H$	
	i	C_i	i	C_i	i	C_i	i	C_i	i	C_i	i	C_i
1	k1	0,1	41	0,06	31	0,07	21	0,18	11	0,31	00	1,00
2	k2	0,1	42	0,06	32	0,14	22	0,15	$\varphi = 12$		0,60	
3	k3	0,1	43	0,12	33	0,12	$\varphi = 23$		13	0,09		
4	k4	0,1	44	0,13	34	0,17	24	0,18				
5	k5	0,1	45	0,05	35	0,07	25	0,13				
6	k6	0,1	46	0,14	36	0,16						
7	k7	0,1	47	0,06	37	0,14						
8	k8	0,1	48	0,13	38	0,13						
9	k9	0,1	49	0,14								
10	k10	0,1	410	0,11								
σ_p	3,321 ($N = 10$)											
$\sigma_{ис6}^{max}$	3,321		1,559		0,857		0,530		0,442		-	
$\Delta\sigma^{max}$	-		1,762		2,464		2,791		2,879		3,321	
$\sigma_{ис6}^{min}$	3,321		0,947		0,537		0,382		0,312		-	
$\Delta\sigma^{min}$	-		2,374		2,784		2,939		3,009		3,321	

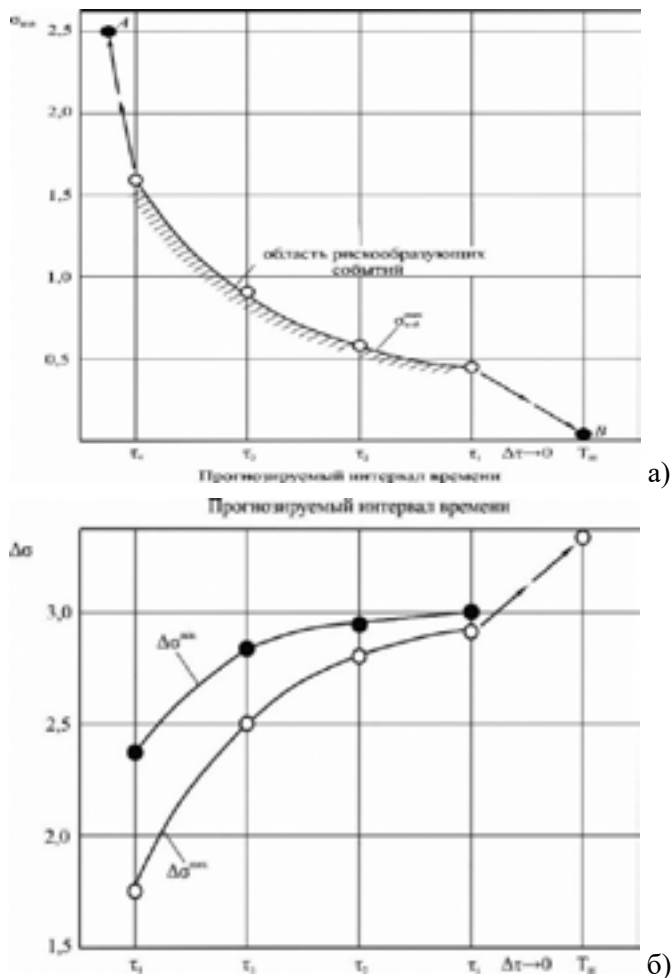


Рис. 4.4 — Изменение роста энтропии рискообразующих событий в перспективной динамике до настоящего времени согласно схеме, представленной на рис. 4.2

Область роста энтропии для группы рискообразующих событий от прогнозируемого до фактического появляется как информационный отклик на возможное состояние разрушения системы. Это не относится к отдельным событиям в любой из

групп. Именно такой вывод вынуждает нас, при анализе рисков, рассматривать все возможные события на каждом временном отрезке прогнозирования в комплексе максимально и минимально возможных. Это связано с тем, что изначально была задана исходная внеинформационная равнозначность всех возможных вариантов событий. Поэтому, с позиций упорядоченности системы, прогнозирование рискообразующего события базируется на сверхаддитивном эффекте, результат которого, в виде связанной информации о единственно выделенном рискообразующем событии во времени T_n , сопровождает данную систему событий в целом.

Например, если в рассматриваемом здесь примере разница между максимально возможной и избирательной энтропией для события, обозначенного как $i = 44$, определяется как $\sigma_p - \sigma_{44} = 3,321 - (-0,13 \log_2 0,13) = 2,938 \rightarrow \min$, то это событие в информационном плане однозначно приведет к реализации рискообразующего состояния. И наоборот, разница $\sigma_p - \sigma_{45} = 3,321 - (-0,05 \log_2 0,05) = 3,104 \rightarrow \max$ означает, что при приближении к времени настоящему T_n событие, обозначенное как $i = 44$, теряет свои информационные возможности, как рискообразующее.

Разница между максимальным значением энтропии системы и энтропией события, которое, по мере приближения к T_n , разделяет события не только информационно, но и фактически на относящиеся или не относящиеся к рискообразующим, и может показывать на его способности к физическому рискообразованию, являясь своеобразным показателем риска.

Универсальная формула Шеннона имеет весьма специфический спектр использования из-за огромного разнообразия исходных сигналов и больших объемов данных. В случае с рисками в производственных системах это многообразие существенно сужается до уровня информационного состояния основных частей производственной системы, о которых упоминалось ранее. Поэтому, упорядоченность или неупорядоченность информации о состоянии отдельных элементов производственной системы становится удобным инструментом для определения риска, свя-

занного с опасностями или потерями для любой производственной системы. И. Прангишвили небезосновательно утверждает для некоторых вариантов, что любой технологический процесс, в основе которого пересекающиеся энерго-энтропийные и информационно-негэнтропийные процессы, становится малоуправляемым в вероятностных параметрах [3]. Это может легко соотноситься и с такими параметрами системы, как риски, связанные с ее безопасным функционированием. По крайней мере, точность управления такими системами по этому параметру будет весьма невысокой. В случае с производственными системами это многообразие существенно сужается до уровня информационного состояния основных частей производственной системы, о которых упоминалось ранее. Поэтому, показатели упорядоченности или неупорядоченности связанной информации о состоянии отдельных элементов производственной системы становятся удобным инструментом для определения риска, связанного с опасностями или потерями для любой производственной системы. А их взаимозависимости с термодинамической энтропией дают удобную зависимость рисков от конкретных событий, через параметры их энергоэнтропики, и делают такие оценки реальными и эффективными, как альтернатива вероятностным оценкам риска.

4.3. Резюме

Энтропия постепенно уточняет свое содержание, как бы приспособляясь к тем системам, в рамках которых ее пытаются изучать современные исследователи. Сам подход к энтропии, как к мере рассеяния энергии, информации и др., в конструктивном содержании сопровождается вектором к ее минимизации, либо вектором максимизации другой энергетической составляющей — негэнтропии, антиэнтропии. Зато растет содержательное наполнение основного термина, энтропии: за счет более вольной интерпретаций понятия негэнтропия, за счет более широкого применения термина «изменение энтропии», связанного не только с ее ростом или торможением этого роста, но даже со снижением

энтропии [4, 20 и др.], что является весьма произвольной интерпретацией самого термина «энтропия». В таком виде энтропийная теория находит своих интерпретаторов, глобализаторов, которые связывают основу второго начала термодинамики с современными представлениями о самоорганизации систем и процессов, не теряя при этом знаний о двойственности энтропии — термодинамической и информационной ее составляющих [18, 19]. В том числе, и при оценке риска [20]. Видимо, не стоит считать, что простой подменой понятия энтропии можно избавиться от недостатков традиционных закономерностей в энергоэнтропике. Применение данной теории в рамках существующих и общепринятых показателей будет более доступным.

События, по которым определяются риски, можно рассматривать как такие процессы и такие свойства системы, которые оказываются востребованными, как рискообразующие, главным образом, в зависимости от количества той энергии, которая внесена этими событиями в открытую систему извне. Таким образом мы можем отличать из всего многообразия событий те из них, которые могут обладать потенциальной энергетической подпиткой в ходе хронологического приближения от некоторого будущего к времени настоящему. Такие события потенциально могут являться источниками риска, если они наступают. И, наоборот, если прогнозируемое событие минимально связано с возможностями энергетической подпитки в будущем, их можно изначально удалить из числа рассматриваемых потенциальных рискообразующих, исключая варианты, когда в дальнейшем приближении их к настоящему времени не происходит искомая энергетическая подпитка.

Здесь не следует смешивать организующее энергозатратное начало процесса появления рискообразующего события и деструктивное состояние системы, как результат процедуры воспроизведения рискообразующего события и реализации самого риска. Если первый процесс в прогнозируемом интервале времени рассматривается, с учетом возможной энергетической подпитки извне, как формирующий потенциально рискообразующее событие до наступления периода $T_n + \delta\tau$, то второй происходит во

времени настоящим T_n , и связан с воспроизведением того единственного события, которое, получив энергетическую подпитку, становится источником реально наступающей опасности, или другого рискообразующего состояния системы.

Если многообразие состояний X , которые возможны в системе, поставить в функциональную зависимость от соответствующих событий C , в результате которых эти состояния образуются, то энтропия, как мера неупорядоченности такой системы, определяется числом состояний $S = \ln X(C)$. Здесь $X = k \cdot C$, а $k \geq 1,0$ и зависит от сложности прочтения тех или иных событий (информационный дефицит). Энтропия системы тем меньше, чем меньшее число возможных состояний или, что то же самое — чем меньше событий, обеспеченных объективной информацией, и производящих эти состояния. В пределе, при $C = 1$ имеем $X = 1, 2, \dots$, а энтропия системы $S = 0; 0,69, k \leq 2,0$, что соответствует максимально организованной системе, понимая под этим ее способность к рискообразованию. Безусловно, для одного единственного события ($C = 1$) такому его состоянию соответствует минимальное значение энтропии в пределах $S = 0,0 \div 0,69$, но не более. Из тех состояний X системы следует выбирать, по возможности, состояния с минимальной энтропией $S \rightarrow \min$, как способные к рискообразованию. Но при этом такая система стремится к изолированности [3]. По крайней мере, до того момента, пока его энтропия во временном пределе δt не устремится к максимуму, в виде деструкции данной надсистемы [21].

Такой механизм может быть контрольным для оценки рисков способностей для тех или иных событий.

Известные и очевидные две составляющие энтропии для событийных рисков, а именно, структурная и информационная, описывают, соответственно, 1) термодинамическое состояние системы, формирующее стремление к равновесному конечному состоянию, и 2) информационное состояние, как степень неинформированности или незнания о каждом из анализируемых событий. Они неразрывны в своем влиянии на те или иные состояния системы.

Набор потенциальных событий, которые могут привести к разрушению системы или нарушению ее функциональности,

то есть к реализованному риску, можно принимать за некоторую систему со своей целью, ресурсами, причинно-следственными связями. С энергетической точки зрения такая система, обладая определенным количеством энергии, может ее перераспределять между несколькими потенциальными событиями в зависимости от внешних факторов системы. Причем перераспределение это явно неравномерное. Появляется так называемый преимущественный фактор для отдельных из прогнозируемых событий. Чем ближе по времени такие события находятся к времени настоящему T_n , тем более важным является для них такое перераспределение. В конечном результате, из всех потенциальных событий следует выделять те, которые получили больше потенциально возможной прогнозируемой энергии и имели возможности для ее усвоения. Если это энергетическое преимущество реализуется в актуальный мгновенный временной интервал $\delta\tau \rightarrow 0$ вблизи настоящего времени T_n , то его энтропия мгновенно минимизируется для того, чтобы в следующий момент настоящего времени T_n превратиться в максимально возможную энергию рассеяния, а именно, ту ее деструктивную часть, которая привела к процедуре воспроизведения рискообразующего события и реализации этого риска, то есть, к аварии. Соответственно, энтропия такой системы изменяется мгновенно от нулевого значения в интервале времени $\delta\tau \rightarrow 0$ до максимального значения в следующий момент настоящего времени T_n (рис. 4.5).

С информационной точки зрения, с приближением события к интервалу времени $\delta\tau \rightarrow 0$ связанная информация о нем [22], как возможном источнике потенциального риска, либо как его отсутствием, растет и к настоящему времени T_n достигает максимума. При этом энтропия для этого события минимизируется. Далее, для того самого одного рискообразующего события информация «застывает» и энтропия не изменяется.

В совокупности выполняются условия

$$\lim_{t \rightarrow (T_n + \delta\tau)} \Delta S_T \rightarrow 0; \quad \lim_{t \rightarrow T_n} \Delta S_T \rightarrow \infty; \quad (4.5)$$

$$\lim_{t \rightarrow (T_n + \delta\tau)} \Delta S_n \rightarrow \max; \quad \lim_{t \rightarrow T_n} \Delta S_n = \text{const}; \quad (4.6)$$

$$\lim_{t \rightarrow (T_H + \delta\tau)} (\Delta S_T + \Delta S_{\text{и}}) \rightarrow \max;$$

$$\lim_{t \rightarrow T_H} (\Delta S_T + \Delta S_{\text{и}}) \rightarrow (\Delta S_T). \quad (4.7)$$

Эти закономерности отражены на рис. 4.5. Резкий переход от минимальной энтропии системы к максимальному ее значению связан с ее составляющими — информационной и термодинамической энтропией. Первая отвечает за организацию рискообразующих событий в преддверии к времени настоящему, а вторая, максимизируясь, проявляет себя как раз при факте наступления рискообразующего события в системе, приводя ее в деструктивное состояние. Этим состоянием может быть, например, приведение системы в целом к нештатному режиму, нарушение работы инженерного оборудования, разрушение системы, заболевание или гибель человека, как элемента, составляющего эту систему, и т. д.

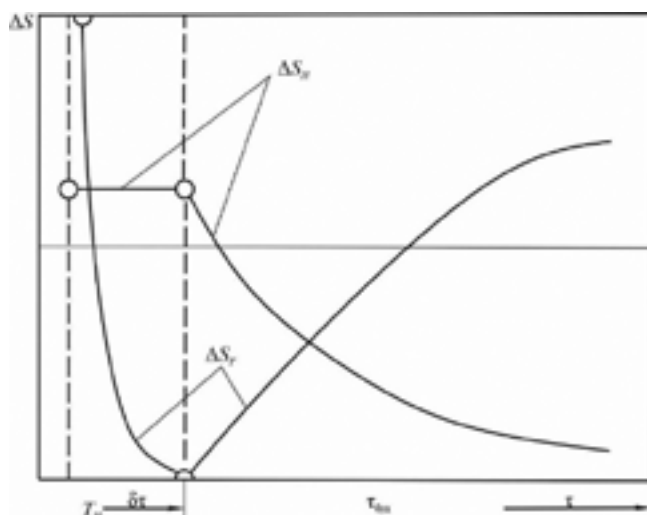


Рис. 4.5 — Качественные изменения в интегральной энтропии для рискообразующего события, относящиеся к термодинамической ΔS_T и связанной информационной $\Delta S_{\text{и}}$ ее составляющим

Можно только предполагать, что в основе таких механизмов, отличающих одни события от других, лежат либо возможные

процессы аттракции, в некоторой ее окрестности, либо, например, возможные деформации информационного пространства, искажения в энергетических потоках, в результате которых изменяется информативность системы либо ее энергетическое содержание, то есть такие процессы, которые в конечном результате способствует соответствующему изменению в организации и энергетической подпитке того или иного рискообразующего события. При этом проявляется эффект уменьшения степени открытости анализируемой системы по этому свойству или параметру. Именно это и, в конечном результате, реализация рискообразующего события в «закрывающейся» системе приводит к ее деструкции или разрушению.

Если в настоящем времени прогнозируется отсутствие риска для конкретного события, это означает, что система далека от «закрытости» и риск ее разрушения, связанный с этим событием, минимален. В полном соответствии с теоремой И. Пригожина для неравновесных незамкнутых систем [23]. Однако, физические закономерности энергоэнтропии представляются как далеко не самый главный механизм, лежащий в основе прогнозирования рисков.

По-видимому, этот механизм очень специфический и тонкий, так как, при анализе событий, он во многом зависит от субъективных ожиданий самого человека, рефлексивных процессов в его нервной системе, способностей к адаптации и возможностей для анализа, что вообще индивидуально для человеческого организма [24, 25, 26]. Мы можем быть уверенными только в том, что это связано с активностью мозга в процессе накопления знаний, представлений о возможном содержании событий. Это сложная самоорганизация, в которой всего лишь один единственный фактор, трансформированный в человеческом сознании, может вызывать существенные изменения в привычной событийной структуре системы и повлиять на оценку уровня ее риска. Логические оценки событий для человека, по утверждению [24] не могут осуществляться вне подвода «отрицательной» энтропии. Такое суждение базируется на том, что мышление связано с символической фрагментацией его результатов (буквы, цифры,

ноты, коды), то есть информации, собственно появление которой является синонимом минимизации энтропии системы, к которой принадлежит мыслящий человек.

По смелому утверждению [11], человек мыслит только с постоянным подводом отрицательной энтропии и не может мыслить самопроизвольно, безэнтропийно. При этом человек способен объективировать свое мышление с помощью символической записи букв, цифр, музыкальных нот и т. п. Логическое суждение человека не может осуществляться без подвода отрицательной энтропии.

В рискообразующих системах человек все-таки является центральным элементом, который во многом связан с оценкой рискообразующего события и на которого направлено, в конечном результате, действие этого события — либо связано с нарушениями в работе системы, либо с воздействием на организм человека. Здесь должно существовать понимание, что собственно риск проявления неблагоприятных событий есть явление чисто объективное, однако восприятие событийного риска человеком относится к субъективным процессам.

В системе «человек — машина» событийный риск соотносится с энтропией во многом через неопределенности поведения человека в системе, отличающейся своей неупорядоченностью. В работе [24] показано, что аналитическая деятельность человека происходит только при постоянном «подводе» в систему его восприятия отрицательной энтропии, и это не может происходить самопроизвольно. Если этот тезис не оспаривать, то в системе, в которую входит человек, принимающий решение, должен быть механизм минимизации энтропии, во всяком случае, на информационном уровне. Такая претензия на качественную энергию в системе со стороны человека должна всегда существовать.

Рассмотрим такие категории деятельности человека, как распознавание образов и логический анализ этих образов. Конкретно к предмету нашего исследования, распознавание некоторого многообразия событий, среди которых только небольшое число проявляет возможности для рискообразования, по определению, должно находиться на постоянно понижающемся энтропийном

уровне. Чего нельзя сказать о процессе логического анализа. Этот процесс, как показывает И. Прангишвили [3], требует присутствия качественной биологической энергии для работы мозга. При этом процедуры суждения, исследования причинно-следственных связей для достижения результата, соотносятся с нулевой информационной энтропией. Иными словами, процесс распознавания и анализа рискообразующих событий в системе «человек — машина» можно считать условно безэнтропийным, потому что это связано с постоянным ростом информированности мозга о состоянии того или иного события.

Ошибочные действия человека, как составляющей в любых управляемых системах, может состояться только в случае, если эти действия в самоорганизуемой системе ведут к увеличению энтропии. И. Прангишвили убедительно подчеркивает, что знание смысла ограничительного характера системных закономерностей позволяет исключить ошибки и снизить влияние человеческого фактора [3].

Таким образом, общая энтропия событий дает представление не только о степени их организованности при приближении от времени будущего ко времени настоящему, но и показывает степень проявления риска, по мере приближения к этому времени. Событийная энтропия может занимать достаточно важную нишу знаний о рисках при их анализе, предлагая возможности для их реализации в условиях постоянно существующей неопределенности любого события. Можно рассчитывать на то, что при определенных условиях количественные расчетные показатели интегральной энтропии при наступлении тех или иных событий могут характеризовать, в том числе, риски их наступления.

ГЛАВА 5

СОБЫТИЙНЫЕ РИСКИ В СИСТЕМАХ «ЧЕЛОВЕК — МАШИНА»

5.1. Функциональные риски в прикладных событийных отношениях

В социотехнических системах нас, прежде всего, могут интересовать риски, связанные с производственной деятельностью и с производственными системами. Как правило, такие системы являются структурированными, вполне управляемыми, прогнозируемыми. Информация о состоянии производственной системы является иерархически многоуровневой, качественно многофакторной, структурировано параметрической и, безусловно, связанной. Она относится к технической системе, при помощи которой осуществляется производство. Она относится и к технологическому процессу, то есть, последовательности запрограммированных действий, физических, химических, механических и др. эффектов, материальных и энергетических потоков, принимающих участие в производстве. Она относится и к человеку: работнику, оператору, менеджеру, их действиям, ошибкам. Многообразие всех этих показателей дает нормативное, в том числе, связанное информационное, состояние производственного процесса. При этом, в силу самых различных причин, эти нормативные показатели меняют свои исходные значения в зависимости от внешних условий, изменений в смежных производствах, износа технической системы, влияния человеческого фактора. Все это приводит к определенному информационному искажению состояния этой большой системы. Искращения в информации приводят к искажениям, корректировкам условий протекания технологического процесса, изменениям в работе технической системы и ее элементов, к изменению условий работы человека. Все это является причиной того, что, когда система войдет в не-

который нештатный режим работы, она, при определенных обстоятельствах, способна привести к аварийной ситуации. Поэтому следует принимать как должное, что условия аварийной работы и связанных с этим рисков определяются, прежде всего, полнотой и достоверностью информации о состоянии производственной системы, ее недостаточностью или избыточностью, потерей упорядоченности информации, ее искажением. То есть, в конечном результате, изменениями в упорядочивании системы, то есть изменении ее энтропии.

Информация о нормативном состоянии системы может быть известной заранее и оставаться в прошлом, то есть быть доступной, например, в «накопительной емкости событий». В процессе работы она может изменяться, искажаться, отклоняться от заложенной в нормативной документации и становиться известной в последний момент и только с определенной степенью достоверности. Так мы приходим к пониманию, что имеем дело с потенциально неопределенной информацией. Причем степень неопределенности зависит от числа возможных состояний системы, в том числе, опасных или, наоборот, безопасных.

Кроме теоретических, экспериментальных и других подтверждаемых в науке зависимостей существуют и логические зависимости между параметрами системы, которые могут иметь свое теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение. На основании материалов ряда авторов [1–15], изучающих подобные зависимости, составим логические схемы существующих качественных закономерностей между интересующими нас параметрами системы, а именно: риском (R), энтропией (S), негэнтропией (N_s), связанной информацией (I_c). В общих чертах их доступная качественная систематизация отображена на рис. 5.1. В частности, показано, что:

- насыщение системы связанной информацией (I_c) способствует увеличению ее негэнтропии (ΔN_s) и передачи части энтропии во внешнюю систему с менее связанной информацией, что обеспечивает организованность данной системы (по материалам работ [1, 4, 5, 16, 17]) (см. рис. 5.1, а);

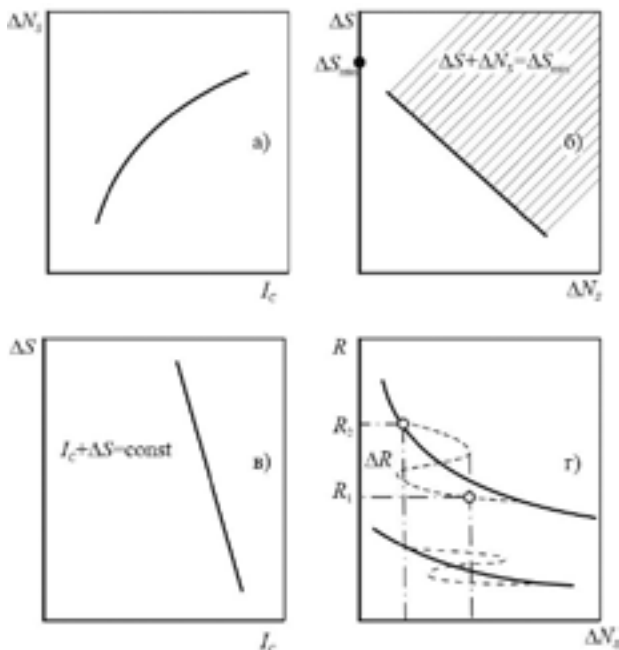


Рис. 5.1 — Логические схемы существующих качественных закономерностей между некоторыми параметрами системы «человек — машина» с позиций рискообразования

— совместное изменение внутренней энтропии (ΔS) и негэнтропии (ΔN_s) в незамкнутых системах находятся в взаимно противоположном отношении типа

$$\Delta N_s(\delta\tau) + \Delta S(\delta\tau) = \Delta S_{min}(\delta\tau) \quad (5.1)$$

или в общем виде

$$\Delta N_s + \Delta S = \Delta S_{min}; \quad (5.2)$$

увеличение одного из них связано с обязательным уменьшением другого за счет экспорта части появляющейся энтропии во внешнюю среду и сохранением неизменного минимума суммарной энтропии (по материалам работ [1, 6, 7, 8 18]), (см. рис. 5.1, б). Здесь $\Delta N_s(\delta\tau)$ — случайное Гауссово распределение вне области

разупорядочения; $\Delta S(\delta\tau)$ — Гауссово распределение в области неорганизованности; $\Delta S_{min}(\delta\tau)$ — изменяемая дифференциальная энтропия гауссовой плотности; ΔS_{min} — изменение минимума энтропии системы;

– условие $I_c + \Delta S = \text{const}$ показывает на возможности роста упорядоченности в системе, если она более насыщается связанной информацией, по сравнению со внешней средой (по материалам работ [5, 16, 19, 20, 21]), (см. рис. 5.1, в);

– с ростом негэнтропии (ΔN_s) можно было бы говорить о снижении уровня рисков (R) в системе, если бы не фактор накапливаемых микро-случайностей и случайность характеристики события, следующего за реализацией риска (по материалам работ [22–28]), (см. рис 5.1, г).

Последняя логическая зависимость может иметь право на существование только в том случае, если она связана с избираемостью системы в параметрических рамках, в данном случае, $R = f(\Delta N_s)$. Например, если такая зависимость будет отображена при помощи бифуркации, как инструмента неопределенности, состоящей из трех равнозначных значений $R_{1,2,3}$ (см. рис. 5.1, в).

Этот ряд, по необходимости, может быть дополнен и другими качественными зависимостями между интересующими нас показателями.

Подобные утверждения позволяют создать модель взаимодействия основных параметров, которые, по нашему мнению, следует учитывать при управлении рисками в системах «человек — машина», а именно, изменение негэнтропии (ΔN_s), энтропии (ΔS), рисков (R) в пространстве координат (рис. 5.2). На графике седло сборки (точка 1) находится на координатной плоскости R (ΔN_s) и соответствует координатам $\Delta N_s = (\Delta N_s)_0$ и $R \sim 1,0$. Это та предельная точка, после которой система входит в в настоящий временной отрезок с бифуркацией в виде сборки Уитни (точки: 1–2–3). Поверхность такой сборки повторяет форму кривой $R = f(\Delta N_s)$ на соответствующей координатной плоскости. А проекция текущей седловой точки (4') сборки Уитни всегда привязана к координатной зависимости $\Delta S + \Delta N_s = S_{min}$. Таким образом, гладкая и однозначная зависимость типа $R = f(\Delta N_s)$ получает

неопределенность (например, в виде сборки Уитни), которая наступает в виде рискованного события с увеличением энтропии от ΔS_0 и выше $\Delta S \geq \Delta S_0$ в период перед настоящим временем, и которое мгновенно перерастет в реальное событие, одно из двух-трех, отраженных в сборке Уитни (см. рис. 5.1). Либо это будет точка (2), для которой $R < 1,0$, либо это будет точка (1), для которой состоится рискованное событие $R = 1,0$, либо для точки (3) мы получаем гипотетическое событие с $R > 1,0$. Возможных вариантов альтернативных событий может и больше трех, но, в этом случае, следует использовать более сложные зависимости бифуркаций типа ласточкиного хвоста, омбилики и др. [29].

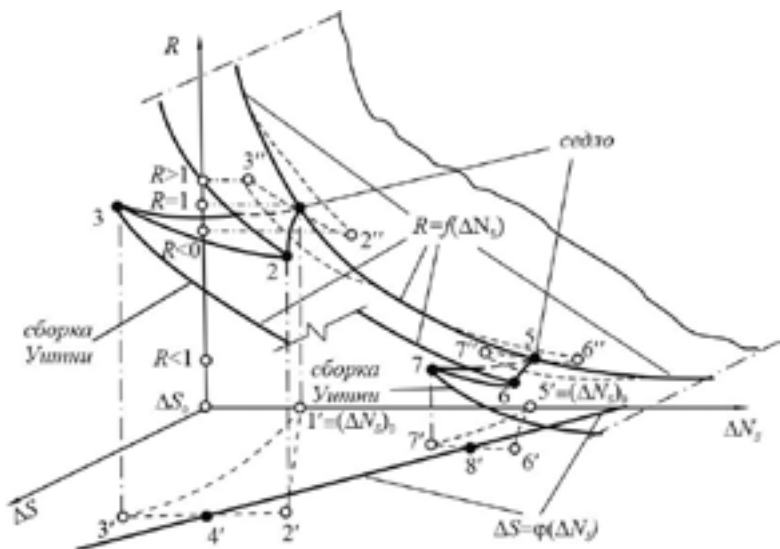


Рис. 5.2 — Формирование неопределенности риска в одной из координатных сеток в условиях бифуркации в координатах функции $R = f(\Delta N_s, \Delta S)$

Возможен вариант события, когда с теми же условиями бифуркации седловая точка (5) (см. рис. 5.2) располагается значительно ниже предельного значения $R \ll 1,0$. В этом случае система выходит из области рискованной неопределенности практически

в любом случае из имеющихся вариантов без самого нежелательного события. Расчеты неопределенностей типа сборки Уитни легко осуществляются [2, 29], если иметь исходные данные об энергоэнтропике системы.

При выполнении работ, связанных с рисками на производстве, человеку чаще всего приходится решать обратную задачу: по результатам состоявшегося нежелательного события восстанавливаются причинно-следственные связи, приведшие к опасному результату. Однако, практика такова, что все эти связи существуют во временной шкале прошлого и их можно оценивать заранее, накапливая знания о них и делая прогнозы на будущее, которое через некоторое время становится настоящим. Такой способ позволяет предметно подходить к области бифуркации с ее неоднозначностью и иметь возможности для расчета нежелательных вариантов событий.

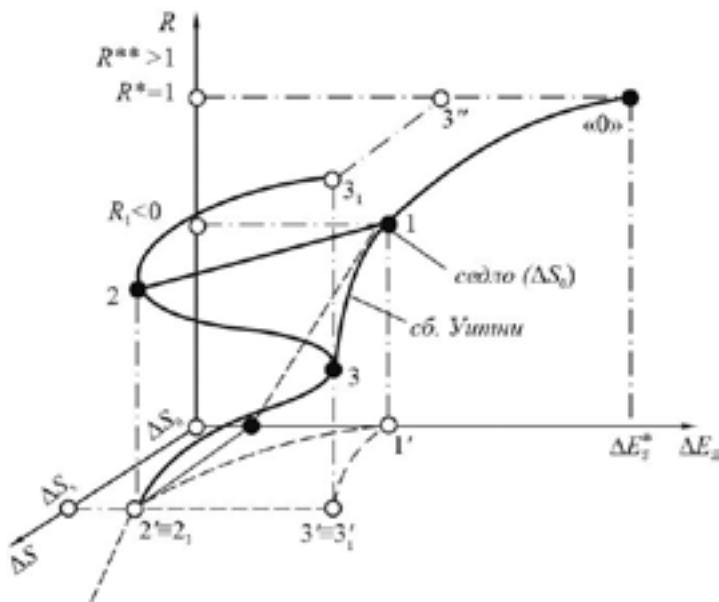


Рис. 5.3 — Катастрофа типа сборки на бесконечно малом интервале времени, предшествующем настоящему, как отображение неопределенности риска в координатах функции $R(\Delta E_s)$

Попробуем рассмотреть ситуацию, связанную с управлением рисками, как состояние системы с бесконечно малыми приращениями параметров в бесконечно малом интервале времени (δt) на временной шкале «СТ», предшествующем настоящему. Это события, которые приводят к разрушению системы (рис. 5.3). Под термином «разрушение» можно понимать и физическое нарушение работы системы, приводящее к браку, и отсроченные убытки в результате работы, и неправильный режим функционирования системы, и человеческие жертвы, связанные с аварией в системе. Приращение может относиться к некоторому обезличенному показателю, изменение которого ведет к нарушению нормативной работы системы.

Такой обезличенный показатель может включать в себя несколько относительных параметров, которые в конечном результате приводят к таким реальным и потенциальным искажениям, накопление которых приводит к нежелательному событию. Например, бесконечное трение приводит к износу элемента системы, к росту биения в кинематической паре, появлению ударных микродеформаций, и, если не контролировать степень износа этого элемента, его слабость может привести к аварии, связанной с разрушением системы. Нетрудно закладывать такое бесконечно малое приращение степени износа в показатель, комплексно оценивающий предрасположение системы к разрушению. Например, это могут быть расчетные накопления микродеформаций в механических системах. Это и копеечные накопления округляемых сумм в статистической или бухгалтерской отчетности, которые, без соответствующего сопровождения, могут привести к существенным финансовым или другим отчетным потерям. Или доли миллиграммов пыли, попадающей в масло для охлаждения двигателя внутреннего сгорания автомобиля, приводящие к постепенному накоплению микроразрушений от истирания взаимодействующих пар в самом двигателе и выходу его из строя.

С ростом $\Delta S > \Delta S_0$ мы попадаем в область катастроф, когда уровень гипотетического риска мгновенно возрастает от $R = 1,0$ до $R^{**} \gg 1,0$. В промежутке роста энтропии от ΔS_0 до ΔS_x система

$\Delta E_s > \Delta E_0$ (тчк. 2, 3), ситуація виходить из-под контролю и переходит в состояние бифуркационной катастрофы типа сборки Уитни в области ее неопределенности (рис. 5.4):

а) неопределенное состояние I, когда система расположена ниже точки 3 и $R_0^H < 1,0$;

б) неопределенное состояние II, когда система находится между точками 3 и 2 и $R_0^H < R < R^{**}$ (бифуркация R);

в) неопределенность I, когда система располагается выше точки 2 и возможна гипотетическая ситуация, когда $R_0 \geq R^*$.

Проекции катастроф (см. рис. 5.4) отражают области неустойчивости системы. Устойчивой система становится за пределами областей точек 2 и 3. Тесная зависимость уровня риска от роста энтропии энергоемких систем очевидна и может быть использована для реальных систем, в которых протекают энтропийные процессы, включая системы управления, информационные системы и др. Задача поиска одного единственного варианта из совокупности неопределенных событий может иметь решение согласно теории катастроф [29] (табл. 5.1).

Для каждого варианта катастрофы следует искать соответствующее уравнение регрессии для связей в системе и по его виду определить вид катастрофы и ее численное значение ее параметров (см. табл. 5.1). Сложность бифуркации определяется понятием коразмерности, значение которой совпадает с числом независимых параметров, при которых эта бифуркация становится возможной. Как следует из рис. 5.3 и 5.4, коэффициенты a, b, c и др. в табличных уравнениях представляют производные от таких параметров систем, как, например, изменение энтропии ΔS , либо эксергии Δe_s , либо негэнтропии ΔN_s либо другого энергетического параметра системы, в зависимости от смыслового содержания системы.

Упрощенное решение задачи, например, поиска параметров уравнения бифуркационной складки $\Delta E = Mx = x(x^2 + \delta\tau)$ сводится к следующему. В стационарном состоянии $x_1 = 0$ рассмотрению не подлежит. Решения $d(\Delta E) / d\tau = 3x^2 + \delta\tau = 0$ в виде $x_{2,3} = \sqrt{-\delta\tau/3}$, где $\delta\tau \leq 0$ (3.2) дают представление о параметрах катастрофы типа складки. В зависимости от величины $\delta\tau = T_H - \tau_2 \rightarrow 0$ мож-

но рассчитывать на один из двух вариантов развития событий, которые могут привести в аварии. Поведение потенциальной функции определяется значением величины ΔE , свойства которой мы уже разбирали.

Таблица 5.1 — Расчетные зависимости для определения риска, относящегося к некоторому уникальному варианту события из области бифуркационной неопределенности для некоторых катастроф (здесь $M = x^2 + \delta\tau$, $N = y^2 + \delta\tau$)

Наименование катастрофы	Уравнение катастрофы	Решение уравнения	Риск катастрофы
Складка	$E = Mx$	x_1, x_2, x_3	0,333
Сборка Уитни	$E = x[M + a]$	x_1, x_2, x_3, x_4	0,25
Ласточкин хвост	$E = x\{x[M + a] + b\}$	x_1, x_2, x_3, x_4, x_5	0,20
Бабочка	$E = x(x\{x[M + a] + b\} + c)$	x_1, x_2, x_3, x_4, x_5	0,16
Омбилика гиперболическая	1. $E = x(M + 0,5y)$	x_1, x_2, x_3, y_1, y_2	0,333
	+ $y(N + 0,5x)$	x_1, x_2, y_1, y_2	0,50
	2. $3x^2 + ay + c = 0$ 3. $3y^2 + ax + c = 0$	x_1, x_2, y_1, y_2	0,50
Бесконечная последовательность форм для одной переменной	$E = x^{(\alpha+1)} + x^\alpha + \dots + \beta$	$x_i, i = 1, 1, \alpha$	0,9(9)

Для каждой из катастроф существует однозначная энергетическая компонента в виде потенциальной функции (E) с одной активной переменной, определяемая по уравнениям (см. табл. 5.1). Повторим, что для каждого события в системе должен существовать некоторый энергетический потенциал E_{const} , благодаря которому это событие осуществляется. Как следствие этого энергетического воздействия, в системе не только выполняется

определенная функция или событие, но появляются и потери энергии, и изменение энтропии, относящиеся к данному варианту развития событий. Решение уравнения энергетической компоненты для принятого вида бифуркации в интервале времени $\delta t \rightarrow 0$ дает нам вариант появления из ближайшего будущего рисковогó события в виде решения (x_i) для одной активной переменной, либо в виде решения (x_i, y_i) для двух активных переменных в настоящем времени. Причем, в этом случае, риск уже не выступает в качестве вероятностной характеристики, а становится вполне определенным событием из будущего (см. табл. 5.1).

Подобное многообразие дает возможность практически в каждом реальном случае описать тот или иной вариант состояния системы в виде ряда событий, одно из которых даст нам объективную реальность в настоящем времени. Следует понимать, что все потенциальные события могут иметь собственное уникальное отображение в настоящем, если учитывать эмпирику тех состояний, которые уже состоялись и стали достоянием прошлого и поэтому могут быть анализируемыми.

5.2. Прикладные аспекты рискообразования в системах «человек — машина»

Покажем, как определяются некоторые риски от возникновения системных аварий в энергосистемах и подходы к управлению ими. Основная задача — обеспечить безопасное снабжение электроэнергией и надежное управление снабжением.

Объект исследования: высоковольтные линии электропередач.

Предмет исследования: риски выхода из строя объектов исследования в зависимости от факторов внешней среды, которые трудно поддаются регулированию, наступают спонтанно и наносят существенный вред.

Оборудование: высоковольтные магистральные и распределительные линии электропередач, трансформаторы, электрические генерирующие мощности всех видов. Каждый узел имеет свою уязвимость в силу наступления рисковогó события.

К событиям причислим:

- природные события (наводнения, штормы, непогода, дожди, землетрясения, торнадо, селевые бури, экстремальные изменения температуры воздуха, метеорологически бедствия);
- нарушения в работе оборудования, вызванные износом, усталостью материалов, изменениями в условиях эксплуатации;
- человеческие ошибки во время эксплуатации;
- нарушения, связанные с искусственным вмешательством со стороны специальных людей, киберпреступления;
- терроризм, искусственные разрушения системы электрообеспечения.

В электробезопасности существует три стандартных типа отказов в работе электротехнического оборудования. Это:

- стандартная авария, относится к отказу одного элемента системы;
- нестандартная авария, связанная с одновременным выходом из строя двух и более элементов одновременно;
- критическая авария, связанная с отказом по причинам маловероятных событий.

Наиболее типичные события C_x , связанные с риском нарушения в работе линейного электрооборудования от климатических причин:

- высокая скорость ветра (поз. 1);
- экстремально высокая (поз. 2) или экстремально низкая (поз. 3) температура;
- обильные осадки в виде дождя (поз. 4) или снега (поз. 5);
- налипание снега (поз. 6), оледенение проводов (поз. 7);
- снежные бури (поз. 8);
- наводнение (поз. 9);
- оползни, инициируемые экстремальными осадками (поз. 10);
- грозы (поз. 11);
- снежные лавины (поз. 12);
- землетрясения (поз. 13);
- цунами (поз. 14);
- лесные и др. пожары (поз. 15);
- штормы и ураганы (поз. 16).

Появление таких событий можно классифицировать по временам года: зима (W), зима — весна (W-Sp), весна (Sp), весна — лето (Sp-S), лето (S), лето — осень (S-O), осень (O), осень — зима (O-W) в зависимости от метеорологических, средних климатических и других природных условий. Матрицу каскадных событий, когда каждое последующее событие является причиной предыдущего и, в свою очередь, становится причиной последующего за ним события представим в табл. 5.2. Здесь каждый событийный сценарий определяется пересечением двух координат «время, ΔT_y » и «событие, C_x » и обозначается как $Q_{x,y}$.

Порядок выбора стратегии поставим в зависимость от критериев управления, поочередно: критерия Вальда, критерия Гурвица и критерия Сэвиджа [30]. Первый из них представляет максиминную функцию от факторов влияния (числа случаев) $Q_{x,y}$, относящихся к событиям C_x :

$$\max_x \min_y Q_{x,y} \quad (5.3)$$

и направлен на максимизацию факторов влияния. Поскольку матрица инцидентности (см. табл. 5.2) не представляет информации о соотношении количественных показателей, критерий Вальда не дает возможности для анализа стратегий будущих рискованных событий и может быть исключен из рассмотрения.

Критерий Гурвица, как наиболее удобоваримый в данном изложении, показывает на выбор наиболее подходящей последовательности событий, приводящих к рисковому результату, и определяется как максиминная функция предпочтительности факторов влияния для этих событий

$$\max_x [(1 - \alpha) \min_y Q_{x,y} + \alpha \max_y Q_{x,y}], \quad (5.4)$$

описанная для некоторого $\alpha = \{0, 1\}$. Коэффициент α относится к векторному ранжированию событий в матрице инцидентности. Безусловно, в область полномочий критерия Гурвица сразу попадают все значения $Q_{x,y} = 0$ при $\alpha = 0$. Но при этом критерий Гурвица (5.4) сразу же превращается в критерий Вальда (5.3), который нами отвергнут по указанным выше причинам. Случаи событийности при коэффициенте ранжирования $\alpha = 0$ и $Q_{x,y} = 1$

по указанным причинам тоже не подлежат анализу. А при варианте, когда $\alpha = 1$ и значения $Q_{x,y} = 1$, мы получаем максимально достоверный результат из всех событий, представленных в матрице (см. табл. 5.2)

Таблица 5.2 — Матрица возможных событий C_x , связанных с рисками для линейной системы электроснабжения, обусловленные природными причинами

Период времени ΔT_y	События, C_x															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
W	«1»	«1»	«1»	0	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	0	0	«1»
W-Sp	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	«1»
Sp	«1»	«1»	«1»	0	«1»	0	0	0	0	0	«1»	0	0	0	0	«1»
Sp-S	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	2	«1»	0	0	0	0	0
S	0	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	0	«1»	0	0	0	0	0
S-O	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	«1»	«1»	0	0	0	0	«1»
O	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	«1»
O-W	«1»	0	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	0	0	0	0	«1»

$$\begin{aligned} \max_x [(1 - 1) \min_y "1" + 1 \max_y "1"] \rightarrow \\ \rightarrow \max_x \max_y "1" \rightarrow \max_{x,y} "1". \end{aligned} \quad (5.5)$$

В качестве исследуемых, в нашем примере, рассмотрим группу событий «5»–«8», которые происходят в зимне-весенний период года, для которых выполняется условие (5.5). В качестве матрицы причинно-следственных связей примем интересующий нас временной отрезок 20 февраля — 10 марта (табл. 5.3).

В частности, прогнозируемый временной участок 27 марта включает повышенные риски, связанные с осадками в виде снега (14 случаев за исследуемый период) и оледенением токопроводящих проводов (7 случаев).

Воспользуемся критерием Сэвиджа для формирования матрицы рисков. Для этого определим максимальное значение фактора $Q_{x,27/02}^{\max}$ в факторной строке матрицы (см. табл. 5.3). Для каждого значения исходной матрицы определим разницу

между ее фактическим значением и максимальным значением $\Delta Q_{x,27/02} = Q_{x,27/02}^{\max} - Q_{x,27/02}$ (табл. 5.4), таким образом, чтобы в новой матрице рисков можно было определить максимальное значение из всех $\Delta Q_{x,27/02}$, т.е. $Q_{x,27/02}^{\max}$, что позволяет судить о минимальном риске из всех его значений, а именно $R = \min_x(\Delta Q_{x,27/02}^{\max} = 14)$.

Таблица 5.3 — Факторная матрица инцидентности для выборочных событий, способных нарушить работу системы транспортировки электроэнергии (здесь значения элементов матрицы $Q_{x,y}$ — число случаев нарушения в событийно-временной системе координат)

Дни периода	События C_x					
	«5»	«6»	«7»	«8»	«9»	«10»
20.02.	6	4	3	0	0	1
21.02.	12	6	8	0	0	1
22.02.	0	0	0	0	1	0
23.02.	5	0	0	0	0	0
24.02.	8	5	5	1	0	0
25.02.	22	11	3	1	0	0
26.02.	11	5	4	1	0	1
27.02.	14	0	7	0	0	0
28.02.	16	0	4	0	0	0
1.03.	0	0	0	1	1	1
02.03.	0	0	0	1	0	0
03.03.	0	0	0	0	0	0
04.03.	4	0	0	0	0	1
05.03.	7	1	3	0	0	0
06.03.	2	0	0	1	1	0
07.03.	0	0	0	0	0	0
08.03.	3	0	0	0	0	0
09.03.	5	1	0	0	0	0
10.03.	0	0	0	0	0	0

Таблица 5.4 — Распределение факторов риска по представительности выборки

Дни периода	Значения $\Delta Q_{x,27/02} = Q_{x,27/02}^{\max} - Q_{x,27/02}$					
	«5»	«6»	«7»	«8»	«9»	«10»
27.02.	0	14	7	14	14	14

Нетрудно убедиться, что минимальный риск связан с проявлением климатических факторов, обозначенных как «6», «8», «9» и «10». Максимальный риск относится к факторам, обозначенным позициями «5» и «7», а именно, обильные осадки в виде снега и оледенение проводов.

Бифуркационная неопределенность в подобных случаях носит характер катастрофы складки и имеет три решения уравнения $0 = R(R^2 + \Delta T)$. При неизменном потенциале системы расчетные значения рисков здесь $R_{1,2} = \sqrt{-\Delta T}$, $R_3 = 0$, решение которого с учетом выражения (4) представляет результат выбора из двух вариантов: обильные осадки в виде снега, либо оледенение проводов.

Проверку осуществим при помощи уравнения регрессии между энергетическим потенциалом и значимыми показателями системы. Уравнение регрессии, полученное на основании расчета количества событий, связанных с влиянием климатических условий на состояние аварийности линий электропередач (см. табл. 5.2 и 5.3), имеет вид

$$\Delta Q = 7,1 \cdot 10^{-6} \Delta T^4 - 0,13 \cdot 10^{-3} \Delta T^2 + 0,37 \Delta T \quad (5.6)$$

$$\text{и } \frac{d(\Delta Q)}{dT} = 28,4 \cdot 10^{-6} \Delta T^3 - 0,26 \cdot 10^{-3} \Delta T + 0,37 = 0. \quad (5.7)$$

Эмпирические зависимости имеют свои аналоги в теории катастроф (см. табл. 5.1) в виде сборки Уитни, где параметр $\Delta T = 1,42 \cdot 10^3$ с, или 0,39 часа. Согласно уравнению регрессии параметр $R = 0,373$. Предварительно допустим, что $R \leq 1,0$. Тогда, опуская первый многочлен уравнения, его решением станет $R = 1,42 \cdot 10^{-2} \ll 1,0$.

Фактический уровень риска, связанного с показанными двумя параметрами, будет равен единице, если принять, что в настоящем

времени наступят сразу два указанных события и готовиться следует к ним в комплексе. Для временного отрезка 0,39 часа (23,4 мин) подобный прогноз дает более точную статистику по полученным климатическим осадкам в виде снега и оледенения проводов, и поэтому требует соответствующих мероприятий по подготовке к работам, связанным с очисткой от снега или льда. Даже если соответствующие риски не оправдаются, и в этот конкретный день не произойдет подобных природных явлений, мероприятия могут иметь профилактическое значение, смысл учебного занятия и др. Но при этом, подготовленность к их проведению станет причиной предупреждения их последствий для крупной инженерной системы.

В качестве еще одного примера рассмотрим событийность на 22 февраля по предложенной матрице. Риск нарушения работы системы связан с наводнением, которое происходило в этот день в один из исследуемых периодов. Это не значит, что указанное событие имеет ежегодное повторение, но предварительная подготовка должна быть связана, в первую очередь, именно с ним, и будет иметь вид профилактики либо учения по предотвращению подтопления линий электропередачи. Время наступления события, если оно связано с повторяющимися природными условиями, может быть расширено на другие дни этого периода.

Подобный подход позволяет выполнять вместе с основной функцией сведения риска наступающего события к минимальному, но и обучение персонала, профилактику данного вида риска в будущем. Кроме того, в базе данных событий в прошлом времени это событие сохраняется с совершенно другим содержанием, отличным от того, которое могло быть, если бы событие, обозначенное как риск, состоялось и имело негативные последствия для системы электроснабжения.

Совершенно парадоксальным примером для данной методики может быть исследование рисков, связанных с возможностями для решения задачи о рисках прекращения существования человеческой цивилизации на Земле. Это пример, когда исследователь не имеет полностью достоверных данных о событийной истории прошлого по этому вопросу. Перед ним только легендарные

события из прошлого и гипотетические варианты событий будущего, из совокупности которых следует определить разумный сценарий и время наступления события. И никакой статистики быть не может.

Из возможных событий предусмотрен целый комплект вариантов, часть которых будет представлена ниже, в табл. 5.8:

- ядерная война (1);
- биологическая война (2);
- спонтанное развитие микроорганизмов и вирусов, несовместимых с организмом человека (3);
- ограниченность жизнеобеспечивающих ресурсов (4) на планете;
- вмешательство космического тела (5) критических размеров. Это единственный пункт, который может быть спрогнозирован как реальный риск на основе астрономических расчетов и исследований.

Сюда же относятся возможные события климато-геологического направления:

- изменение климатических условий на поверхности планеты (6);
- крупнейшие землетрясения и гипервулканическая деятельность (7).

Безусловно, список этим не ограничивается.

Сценарии реализации таких событий могут существенно варьироваться, но собственно каждое событие может быть промаркировано именно таким, хотя и далеко не полным, образом.

В таблице 5.5 приведены исходные данные для оценочного расчета интегральной энтропии системы «планета Земля». Тут и далее мы будем пользоваться сравнительными цифрами со ссылками на источники [31–44]. В отдельных случаях мы даем оценочную характеристику полученным числовым разбросам, в том числе, и по данным наших исследований.

Температурные данные и временные параметры для расчета энергообмена на планете и в отдельных ее частях в разные периоды времени взяты из источников [45–55]. Мы воспользуемся данными только четвертичного периода до наших дней.

Таблица 5.5 — Оценочные данные применительно к энергетическому балансу на планете Земля

№ п/п	Характеристика	Абсолютная величина, кДж	Относительная величина, %
1	Количество солнечной энергии, достигшее поверхности Земли за всю историю существования	$17,3 \cdot 10^{33}$	-
2	Количество солнечной энергии, достигающее поверхности Земли за год	$3,8 \cdot 10^{24}$	-
3	Суммарные потери солнечной энергии планетой Земля за всю историю ее существования	$13,8 \cdot 10^{33}$	83,8
4	Солнечная энергия, остающаяся на планете на протяжении года	$6,2 \cdot 10^{23}$	16
5	То же самое за всю историю существования Земли	$2,8 \cdot 10^{33}$	16,2

Мы не будем ссылаться на лапидарные и схожие с ними сценарии событий, приводящих к глобальным и катастрофам, по причине отсутствия объективности. Ее в таком исследовании и без того ощущается множество. История природы подсказывает такие варианты. Но у человека нет прямых доказательств развития таких сценариев в прошлом, которые привели к гибели цивилизации. Если уйти от вероятностной модели оценок рисков к событийной модели, по которой наука уже накопила определенный проблемный опыт, то возможен более объективный вариант прогноза. Матрица инцидентности в такой модели основана на правиле присвоения каждому ее члену значения, соответствующего таблице 5.7.

Последствия таких сценариев, по определению, носят глобальный характер, учитывая рассеяние или распространение их

результатов по поверхности планеты. Поэтому такие параметры, как площадь влияния события, мы отнесем ко всей поверхности планеты ($F_0 = 5,101 \cdot 10^{11} \text{ м}^2$), с возможным выделением площади суши ($F_c = 1,17 \cdot 10^{11} \text{ м}^2$). Временные параметры для различных сценариев могут варьироваться от временных границ прогнозирования, которые мы покажем в табл. 5.8 до возможного периода наблюдения τ_i . Вариативность оценки не проводится.

Таблица 5.7. — Таблица соответствий
в матрице элементов $a_{i, k}$ маркирования в каждом i -м
одномоментном временном интервале

Маркер элемента $a_{i, k}$	Правила маркирования в матрице событий
00	Причина отсутствует, и потенциального события нет
01	Причина неочевидна, но потенциальное событие учитывается
10	Причина существует, но потенциальное событие неочевидно
11	Причина существует и потенциальное событие присутствует

Если исходные данные для расчета относились к отдельному региону или отдельной территории планеты, их обобщали экстраполированием на более обширные территории Земли. Это также приносило ошибки в расчетах, но тем не менее, такие результаты давали возможности для качественного анализа

Расчет изменения энтропии планеты осуществляется исходя из оценочных данных по освоению солнечной энергии всеми доступными для природы способами (фотосинтез в размере $1,8 \cdot 10^{21}$ кДж в год, синтез углеводов в суммарном количестве $7,5 \cdot 10^{22}$ кДж разведанных запасов угля, нефти, газа, фотосинтез океанских систем в объеме до $9,3 \cdot 10^{21}$ кДж в год и др.) во временном интервале, отнесенном к единице периода, и средней температуры на поверхности планеты.

В качестве приведенного показателя энтропии, отнесенного к площади поверхности Земли по принципу влияния и к временному интервалу наблюдения примем

$$\sigma = \frac{k \ln w}{F_i \cdot \tau_i} [\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{год})]. \quad (5.8)$$

Здесь: k — постоянная Больцмана, w — число сценариев (способов) реализации данного события. Последний показатель может иметь только оценочное значение и поэтому лучше принимать диапазон его существования, таким образом принимать и диапазон изменения параметра σ . Такой показатель может служить в качестве оценки реальности того или иного события и той или иной опасности такого масштаба.

Некоторые выводы, которые следуют из расчетов приведенной энтропии, которая может сопровождать отмеченные явления и события, можно систематизировать следующим образом.

1. Чем более организованной является система человечества, тем меньше ее приведенная энтропия до момента возможного разрушения системы. При последнем действии приведенная энтропия возрастает максимально. Это снижает актуальность тех или иных событий.

2. Приведенная энтропия природных катастроф всегда больше, чем приведенная энтропия, связанная с техногенными факторами. Исключение составляет ядерная катастрофа, связанная с высвобождением сразу огромного количества энергии.

3. Чем больше доля используемых природных ископаемых, тем больше приведенная энтропия системы за счет низкой эффективности методов высвобождения и использования полезной энергии и выше потери от собственно высвобождаемой энергии. И тем более высокая приведенная энтропия, которая, в таком случае, «поглощает» энтропию синергизма, связанную с человеческим трудом.

Человечество прошло в своем историческом развитии такие глобальные катастрофы, как связанные с изменениями положения земных полюсов, климатическими коллапсами, с активностью земной коры, астероидными посещениями и т.д. По непроверенным данным, некоторые исследователи полагают существование ядерной катастрофы в ранние периоды существования цивилизаций.

Таблица 5.8 — Матрица некоторых возможных событий, связанных с рисками для существования земной цивилизации и их энтропийная составляющая [$\cdot 10^{-5}$ Дж / ($K \cdot m^2 \cdot год$)].

Временные границы для прогноза			Строки матрицы	Факторы риска и оценочные изменения приведенной энтропии системы (σ), связанной с факторами риска (столбцы матрицы)						
временной интервал	годы			«1» (σ)	«2» (σ)	«3» (σ)	«4» (σ)	«5» (σ)	«6» (σ)	«7» (σ)
до 100 тыс. лет до Р. Х.	-		1	01 (5,5)	00 (5,2)	00 (0,31)	00 (0,30)	11 (12,3)	11 (7,2)	11 (10,7)
до 30 тыс. лет до Р. Х.	70 тыс. лет		2	00 (7,4)	00 (5,5)	01 (0,22)	00 (0,45)	11 (11,1)	11 (7,7)	11 (11,3)
до 0 г. Р. Х.	30 тыс. лет		3	00 (7,2)	00 (5,0)	11 (0,71)	00 (0,38)	11 (12,0)	01 (6,6)	11 (10,1)
до 1500 г. Р. Х.	1500 лет		4	00 (7,5)	00 (5,5)	11 (0,55)	00 (0,33)	11 (14,4)	01 (7,8)	11 (11,1)
до 2000 г. Р. Х.	500 лет		5	11 (11,4)	11 (0,14)	10 (1,64)	01 (0,45)	10 (11,0)	10 (6,4)	10 (4,8)
до 2050 г. Р. Х.	50 лет		6	11 (12,1)	11 (0,17)	11 (1,77)	11 (3,52)	10 (10,8)	11 (7,2)	10 (4,9)
до 2100 г. Р. Х.	50 лет		7	11 (11,9)	11 (0,11)	11 (1,52)	11 (5,55)	10 (10,5)	11 (7,2)	10 (3,9)
до 2150 г. Р. Х.	50 лет		8	01 (5,4)	00 (5,2)	11 (1,74)	10 (0,49)	10 (12,1)	10 (6,2)	10 (4,5)
до 2200 г. Р. Х.	50 лет		9	00 (7,7)	00 (6,1)	10 (1,44)	01 (0,28)	10 (11,9)	01 (6,7)	10 (4,5)

Трудно определить энергетические составляющие таких эпох и этих состояний и оценить их потенциальные возможности, поэтому такой фактор учитывается как апостериорный и не доказательный. Но риск появления ядерных и биологических катастроф может сохраняться вплоть до 2100 года, то есть на протяжении всего XXI столетия. При этом сценарии таких событий минимизируются самим обществом, например, стратегия самосохранения, договоры о сокращении ядерных вооружений. Это подтверждается и относительно небольшим разбросом значений приведенной энтропии для событий, отмеченных в матрице как «00» и «11» соответственно — в 1,64 раза (от 7,4 до $12,1 \cdot 10^{-5}$ Дж/(К·м²·год)) по ядерным катастрофам. Чего не скажешь о рисках биологических войн: разброс приведенной энтропии в случае реализации события составляет 50 крат (от 5,5 до $0,11 \cdot 10^{-5}$ Дж/(К·м²·год)). События последней группы характерны большими негативными ожиданиями и повышенной энтропией, и возможными реальными последствиями, которые характеризуются значительно меньшими потерями энергии на их преодоление.

Мы в общем варианте научились справляться с последствиями землетрясений и вулканической деятельности, по крайней мере, не за счет влияния на эти факторы, но посредством быстрой ликвидации последствий. И только техногенная активность человека не позволяет полностью исключить риски климатических и других катастроф. Но и этот фактор находится в поле внимания человечества, и мы способны с ним бороться и предотвращать его собственными методами.

Мы исходим из положения о том, что современный нам мир — это сосредоточение максимального количества глобальных рисков, которые носят как природный, так и техногенный характер. Поэтому период между 2000 и 2050 годом становится наиболее насыщенным возможными рисками глобального характера. При этом такие риски, как спонтанный рост популяций опасных и непоборимых микроорганизмов и вирусов для общества еще впереди, но если к ним готовиться уже сегодня, то эти риски можно минимизировать. Но, судя по совокупным и опять-таки

оценочным расходам энергии на преодоление коронавируса, вирусов Эболы, иммунодефицита и подобных им, эффективная минимизация таких рисков — это дело не сегодняшнего дня, так как общество еще не готово к эффективной минимизации таких рисков. Риски вирусных инфекций и других микроорганизмических атак на человечество существовали и в ранние века, существуют и проявляются сейчас, и будут преследовать человечество еще полтора века (примерно до 2150 года).

Представляются интересными факторы риска, связанные с истощением недр планеты и дефицитом материальных и, в особенности, энергетических ресурсов человечества. Они связаны с разбросом в значениях приведенной энтропии системы примерно в 18 раз (от 0,3 до $5,5 \cdot 10^{-5}$ Дж/(К·м²·год)) от абсолютно не реальных событий, до вполне объективных, способных привести к критическому дефициту энергии и материалов.

Судя по энергетическим сопровождениям, которые относятся к выявлению новых источников энергии и многих полезных ископаемых, человечество недолго будет находиться в состоянии энергетического дефицита, за счет выявления новых источников энергии, которые ранее находились вне внимания общества, например [44, 56].

До 2150 года общество способно избавиться от таких опасных событий, как ядерные и биологические войны, которые угрожают человечеству со второй половины XX века. Невозможно полностью исключить вулканическую деятельность и землетрясения, частота которых, по результатам многих исследований, будет со временем возрастать, как и активность недр планеты. Но их последствия, как результат прогнозирования и профилактики последствий, могут быть осуществлены уже к 2050 году.

В целом даже такое небольшое количество потенциальных рисков может показать всю палитру опасностей, которые сопровождали и продолжают сопровождать цивилизацию на протяжении всей ее истории. При этом если ранее такие опасности носили сугубо природный характер, то уже с XX века позиции 1–4 матрицы рисков носят чисто техногенный характер и во многом зависят от самого человека, в отличие от природных факторов

риска, и поэтому существует надежда на разум и преодоление таких причинно-следственных связей и преодоление опасностей реализации подобных событий и их сценариев.

И в заключении этого анализа отметим, что безусловно, такой прогноз рисков нельзя назвать максимально точным и полностью объективным. Причины скрыты в огромных временных интервалах событий и недостоверности исторических данных о реализации многих из упоминаемых здесь рисков. Однако, вероятностными методами получить такой результат было бы вовсе невозможно.

ГЛАВА 6

СОВРЕМЕННАЯ СЕМАНТИКА И СМЫСЛ ТЕРМИНА «РИСК»

6.1. Синонимичность и принадлежность термина «риск»

Риск, как критическое действие, всегда объективен и логичен. Он имеет вполне определенный смысл, и ведет к нему строгая последовательность однозначных событий. Структура этих событий вполне предсказуема и имеет аналоги рискообразования в прошлом времени. Поэтому прогнозирование событийных рисков основано на их логичности, однозначности и последовательности цепочки событий, их повторяемости в прошлом и является объективной данностью. Такое понятие событийного риска позволяет несколько по-иному трактовать само понятие «риск».

Поставив задачу показать более-менее точную формулировку термину «риск», которая удовлетворяла бы большую часть потребителей, следует, прежде всего, обратить внимание на свойства этого термина, которые играют основную роль при его использовании. Частично попытка такого анализа сделана в предыдущих главах данной работы. Безусловно, она не полная, но претендует на объективность. Потому, что все многообразие свойств такого междисциплинарного термина, как «риск», охватить весьма затруднительно. Попробуем сделать это в масштабах наших исследований, с учетом доступного и удобоваримого материала по данной тематике.

В системе существующих координат и в грамматическом изложении, термин риск — это подлежащее. В предложении: «Риск составляет 10%», риск — это подлежащее. Сказуемым здесь выступает слово «составляет». Попробуем присвоить слову «риск» свойства сказуемого. При этом меняется собственно содержание этого понятия. То есть, чтобы изменить грамматическое содержание термина «риск», ему следует присовокупить какое-либо

подлежащее. Подлежащее, которое должно быть присоединено к нему, изменяет смысл термина «риск». Например: «риск некоторого события». Здесь риск, рисковать — это действие. Относится оно к подлежащему «событие». Здесь наш термин уже выступает как сказуемое, как приложение к подлежащему «событие». Мы получили, в первом приближении, словосочетание, которое можно принимать за основу будущего понятия «риск».

Обратим внимание на то, что любой вид человеческой деятельности легко представить в виде цепочки последовательных во времени событий, в основе которых — принятие решения, которое и приводит к конкретному событию, в том числе, связанному с риском. При этом неотъемлемыми составляющими этой деятельности, в обязательном порядке, являются временной фактор, применяемая для этого энергия, ее качество и вид, а также информация о системе. А значит, такие процессы связаны с изменением этих показателей в системе. Можно утверждать, что понятие риска — это производная от понятия «событие», изменяющегося во времени. Возможно, и не только. Смысл риска легко связать с изменениями информации о событии, составляющей содержательное наполнение этого термина, а также с энергетическими изменениями, как основой для функционирования самой системы, а значит, последовательно, с ее энтропией.

Риск является производной от некоторого многообразия понятий, которые складывались исторически и имели некоторую содержательную иерархию. О некоторых из них мы упоминали ранее, в первой главе, давая исторический экскурс в тему данной работы. Отдельные из этих понятий мы рассматривали более подробно, как значимые в ходе нашего исследования. В любом случае, не учитывать такие соотношения было бы неправильно.

Рассмотрим последовательность следующих **синонимических терминов**: *угроза* (1), *опасность* (2), *риск* (3), *неопределенность* (4), *случайность* (5), *событие* (6), *вероятность события* (7), *принятие решения* (8), *определенная данность* (9) и предложим для нее некоторую последовательность (рис. 6.1).

Эта последовательность является весьма объективной не только в семантическом смысле, но и функционально, когда

каждое последующее понятие является производным от предыдущего. Например, риск становится не только уточняющим синонимом слов «угроза» или «опасность». Он дополняет эти предыдущие термины новым содержанием и более развитым смысловым наполнением. То же относится к смысловой цепочке: «неопределенность — случайность — событие — определенная данность», или цепочке «событие — принятие решения — определенная данность». И т. д.

В. С. Диев в работе [1], подчеркивая особую роль теории и методов принятия решений в жизни общества и отдельных людей, обоснованно рассматривает понятие риска в согласованности с методами принятия решений, как функциональным наполнением этого понятия. Утверждается, что любая человеческая деятельность так или иначе связана с предполагаемым результатом, в том числе, с прогнозом этого результата и с самим полученным результатом. Риск в этой деятельности может занимать определенную нишу между реальным и прогнозируемым результатами.

Итогом принятия одного конкретного решения является реализация события, которое является следствием этого принятого решения, в зависимости от того, в какой степени это решение было исполнено. Степень реализации события, его правильность и, в конечном результате, — правильность принятого решения зависят от множества причинно-следственных связей, в том числе, и от состояния внешней среды, и может либо дать, либо не дать необходимый результат. Эта часть нашей терминологической последовательности, собственно, и отвечает за результат: каким будет событие, связанное с прогнозируемым риском.

Таким образом, появляется дополненная терминологическая цепочка **односмысловых функциональных терминов**: *риск* (3), *неопределенность* (4), *событие* (6), *причинно-следственные отношения* (10), *принятие решения* (8), и, в конце концов — *реальная определенность* (9).

Объединение этих двух цепочек дает некоторое представление о значимости каждого из оперируемых нами терминов. Понятия угроза и опасность, как термины, предшествующие

по своему смыслу термину риск, не вызывают возражений (см. рис. 6.1). И остальные звенья цепочки примерно совпадают по последовательному смыслу. Но очевидно, что при пересечении семантической и функциональной цепочек появляются отдельные термины, которые как бы выпадают из этой логической цепи. Это позиция № 5 — «случайность события» и позиция № 7 — «вероятность события». Причем во втором случае происходит как бы формализованная подмена этого термина другим, но функциональным термином «причинно-следственные отношения». Это как раз те термины, которые вызывают субъективное отношение к ним в данной работе, и в работах других исследователей. Об этом будет показано ниже в этой главе.

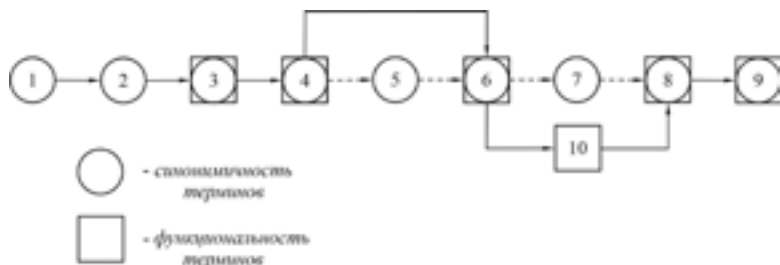


Рис. 6.1 — Синонимическая и функциональная последовательности терминов, связанных с понятием «риск» (обозначения по тексту)

Рассмотрим такой термин, как «неопределенность». Ранее показано, что событие, как результат совокупности действий, всегда предполагает существование привязанной к нему определенной информации и определенного энергетического потенциала в системе, где это событие реализуется. Неопределенность как состояние предшествования самому событию и как основа для принятия решения может быть определена как умозрительное состояние субъекта на уровне его знаний об объекте. Неопределенность в системе означает недостаточность информации о событии, а значит, высокую степень роста энтропии самой системы. Определенность характеризуется наличием достаточной информации о системе или ее изменениях и, соответственно, снижением изменения

энтропии системы до нулевой отметки. То же самое относится и к энергии системы. В самом общем случае, неопределенность и предполагаемость события дают значительный разброс данных о возможных источниках и способах преобразования энергии для его реализации, а значит, изменение энтропии таких систем велико. И, напротив, чем более конкретным является рисковое событие при приближении ко времени его реализации, тем более конкретными являются источники и способы преобразования энергии, чем обеспечивается локализация изменения энтропии. Соответственно, событийный риск, как потенциальная неопределенность, обладает высокой степенью роста энтропии, в то же время, как реализованное событие, содержащее в себе этот риск, минимально или почти не связано с изменениями энтропии. При этом общий ее уровень, в понимании событийного риска, не имеет значения и характеризует только общее энергетическое состояние системы. В основе таких отношений в данном случае лежит отношение «неопределенность — вполне определенное событие».

Главным генератором риска почти всегда является человек, его целенаправленные действия. Другим генератором риска является внешняя окружающая среда, в частности, природа. И тот, и другой источники риска являются в большей степени спонтанными, носят характер случайности и неопределенности. Преодоление риска представляется в виде способа выравнивания таких случайных процессов из неопределенности в определенное состояние, как в человеческой деятельности, так и в природном окружении. Такой способ может быть заключен в обозначенной выше цепочке составляющих понятий, которые, в этом случае, должны находиться в основе определения термина «риск».

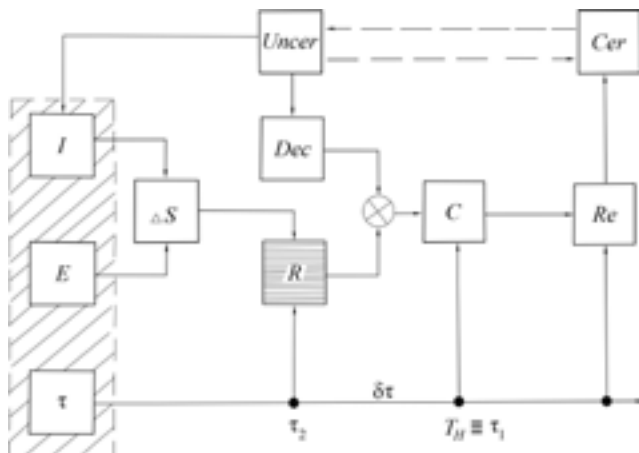


Рис. 6.2 — Функциональная схема рискообразования в логической системе. I — информация (information); E — энергия (energy); τ — время; ΔS — изменение энтропии; R — риск; Dec — принятие решения (decide); C — событие; Re — результат (result); Cer — определенность (certainty); $Uncer$ — неопределенность (uncertainty)

Отдельные из этих составляющих, а именно, время, информация и энергия (две последние — в виде интегрального показателя изменения энтропии системы), а также причинные связи в совокупности, являются основой для принятия решения с определенной долей риска (рис. 6.2). Результатом такого решения является событие, которое путем реализации в настоящем времени переходит из состояния неопределенного в состояние свершившегося события или определенности. Повторим, что, в полном соответствии с законом Шеннона, в состоянии неопределенности система обладает максимальным изменением энтропии. В состоянии свершившегося события увеличение энтропии системы может быть в пределе практически равным нулю. Поскольку переход из состояния неопределенности в состояние вполне определенное происходит почти мгновенно за время $\delta\tau = (\tau_1 - \tau_2) \rightarrow 0$, то и состояние риска изменяется от единицы до нуля также практически мгновенно. Поэтому, в количественном выражении риск, скорее всего, имеет двоичное (или бинарное)

отображение: от единицы до нуля «1;0» без промежуточного количественного обозначения.

Таким образом, понятие «риск» легко сводится к его конкретному смысловому содержанию в зависимости от предмета приложения и обладает количественным значением в виде двоичного кода.

Смысловое значение этого термина в зависимости от объекта приложения должно обозначать вид опасности и характер потери. Например, в экономике, бизнесе риск — это неизбежная составляющая успеха (без риска в современном бизнесе почти не бывает результата), обозначается как возможность (или невозможность) потерь в зависимости от цепочки предполагаемых (неопределенных) событий, переходящих в настоящее время, как свершившихся. Риск в экономике терминируется с такими понятиями, как ущерб, потери либо приобретения, выигрыш или проигрыш, убыток или прибыль. Уже в этом, в некоторой степени, заложена альтернатива риска как бинарного отношения: «да — нет».

6.2. Смысловое содержание и признаки термина «риск»

В человеко-машинных системах риск обозначается как возможность (или невозможность) ущерба для жизни, здоровья (включая производственный травматизм и профессиональные заболевания) или для социальной значимости человека в зависимости от последовательности предполагаемых (неопределенных) событий, состоявшихся (или определившихся) в настоящем. С производственной стороны риск в данном случае представляется как возможность нанесения материального ущерба производству в зависимости от последовательности предполагаемых (неопределенных) событий, которые состоялись (или определились) в настоящем. В этом случае, термин «риск» также может иметь экономическое наполнение: производственные потери, разрушения от аварий, регрессивные потери, аварийные и ремонт-

ные простои. Но основным фактором риска в таких системах, все-таки, является человек, как биологическое существо: его жизнь, здоровье, условия его безопасности в социотехнической системе. У. Бех отметил, что «применительно к подобным случаям исчисление рисков — это своеобразный пример этики без морали, математической этики технологического века» [2]. На наш взгляд, такая формулировка делает риск в человеко-машинных системах наиболее актуальным для общества. И, опять-таки, все определяется в бинарных (двоичных) обозначениях — «жить — не жить», «быть здоровым — не быть» в процессе работы, как альтернативы. Среднего здесь не бывает. Поэтому, и термин «риск» должен наполняться именно этими постулатами, как основополагающими для человека.

Вернемся к их смысловым свойствам. Главным отличительным признаком во всех опосредованных случаях является то, что количественной оценкой риска остается *бинарная пара* «1;0», обозначающая наличие или отсутствие риска в системе. В событийном риске также присутствует своя бинарность, как еще не реализованный, но реальный риск «1» в некоторой отдаленной неопределенности, и реализованное нулевое риск-событие «0» в настоящем времени T_n .

В целом, если уйти от традиционного вероятностного определения риска, то его событийную составляющую можно обозначить как состояние *переходное и дуальное* — от неопределенности к определенному состоянию в зависимости от множества факторов, объективных: времени, информации, энергии, событий, и факторов субъективных — принятия решений, причинно-следственных связей в системе, состояния внешней среды.

Подтверждая невольно переходное «определенно-неопределенное состояние системы», П. Бернштейн описывал риск как *сигнал* к овладению стратегией поведения в условиях неопределенности вне зависимости от степени овладения будущим [3]. Ключевым словом здесь становится «сигнал», как знак того, что существует действие и существует переходный процесс. Риск, в данном случае, представляется как обозначение переходного периода между неопределенностью и определенностью, прогно-

зом и реальностью, предполагаемым и осуществляемым. Значит риск, в более общем понимании, — это обозначение *переходного процесса*.

Понятию риска свойственен *дуализм*. В частности, в литературе подчеркивается дихотомизм самого термина «риск» [4]. Типичные пары «удача — неудача», «выигрыш — проигрыш», «опасность — безопасность» свидетельствуют о том, что мы имеем дело с дуальностью. Риск часто определяют как ситуацию выбора. В такой интерпретации определения риска, как ситуации выбора типа «да — нет» мы опять встречаем дуалистический смысл.

Возвратимся к работе [5] в той ее части, которая представляет риск как событие, что не противоречит уровню Международного стандарта ISO 31000:2018 — менеджмент рисков.

Мы утверждаем, что событийные свойства риска таковы, что собственно событие, как предшественник информации о негативе или позитиве, отличается от семантического состояния самого понятия «риск». Риском, в данном случае как раз является не само событие, а его ожидание. Причем, *ожидание рискового события* носит безусловный дихотомический характер, то есть, имеет дуальное наполнение типа «да — нет».

Подходя к понятию термина «риск», стоит упомянуть еще несколько работ, в которых авторы интерпретируют субъективность и аналоговость, предположительность и неопределенность, закладываемые в это понятие. В первой из них, о природе и истории риска, П. Бернштейн утверждает, что овладение стратегий поведения в условиях риска является «отличительной чертой нашего времени», идеей, которая проводит границу (временную, — *наша ремарка*) между современностью и прошлыми эпохами. В основе этой идеи лежит представление о том, что «будущее — это не просто прихоть богов и что люди бессильны перед природой. Пока человечество не перешло через эту границу, будущее осталось зеркалом прошлого или мрачной вотчиной оракулов и предсказателей, монополизировавших знания об ожидаемых событиях» (ссылка на [6]). Имеется в виду не предсказательность риска, но его эмпирическая предположительность при анализе.

Вторая формулировка изложена в работе [7], где авторы подтверждают такие основополагающие показатели риска, как неопределенность, ограниченность ресурсов, субъективность в принятии решения: «Феномен риска — это форма проявления человеческой субъективности в объективно обусловленных социальных ситуациях, фундаментальным признаком которых является ограниченность имеющихся ресурсов. Это, в частности, создает обстановку неопределенности и требует от социального субъекта выбора своего поведения в виде ответа на угрозы и вызовы». В частности, очевидно, что из всех предполагаемых событий человек не всегда может определять наиболее реальное именно в силу субъективности своего мышления. Все это показывает на вполне определенный и отличительный от традиционного смысл риска, как событийного понятия, связанного с иной, чем его вероятностная, специфической количественной оценкой.

Третья позиция изложена в работе Х. Ортега-и-Гассета [8] и относится к социальной природе человека, как носителя риска: «Человек XX века обладал конформизмом настолько, что удовлетворялся собственной неотличимостью, как субъект потребления. В XXI веке парадигма потребления вытесняется парадигмой выживания..., как основной мотивационной причиной для принятия решений, а риск — это само принятие решения, предотвращающее неконтролируемые угрозы». Иными словами, собственно условия нынешнего века являются источником непреходящих рисков для получения ущерба, потерь здоровья и даже жизни от широкого многообразия внешних вызовов, которые становятся неотъемлемой частью его существования.

Без этих трех позиций было бы неверно рассматривать любые актуальные виды формулировок термина «риск».

И, безусловно, свою часть осмысления для таких суждений добавила теория перспектив Канемана-Тверски с собственной интерпретацией внутриличностного человеческого субъективизма и поведенческой иррациональности, не только как основы для появления риска и для его подавления на основании принятия асимметричных решений [9, 10]. Тем не менее, следует утверждать,

что увлеченность субъективизмом уводит нас от реального смысла понятия «риск» в современном обществе. Итак.

В предыдущих разделах работы мы определили точки притязаний, которые могут составить смысл термина «риск», в том числе, исходя из имеющихся современных исследований многочисленных авторов. Безусловно, этот перечень далеко не ограничен этими исследованиями и может быть предметом еще более тщательного изучения. Тем не менее, дальнейшие результаты могут стать весьма интересными и для последователей, и для оппонентов. Такая позиция придает уверенности в избранном направлении исследования, но может быть легко оспорена читателем. Тем не менее...

Разобраться в объективности и применимости тех или иных терминов «риск» по литературным источникам можно только в совокупности с результатами прямых экспертных заключений от имени тех, кто ими постоянно пользуется в своих работах. Число доступных нам источников литературных публикаций в открытой печати и в интернете достигало 200 единиц в областях прикладной рискологии, безопасности труда и технических систем, преаксидентной, экологической и кибернетической безопасности, публикации тех авторов, которые занимаются риск-инжинирингом для самых различных компаний, банков, страховых и торговых агентств, заказывающих подобные исследования и участвующих в научно-практических конференциях в Украине, Литве, Польше, Молдове. Опыт таких специалистов, с одной стороны, привычка работы с устоявшимися понятиями, частая неудовлетворенность получаемыми стандартными результатами, дающими мало возможностей для аналитического исследования и практических результатов, с другой стороны, делают их мнение вполне объективным там, где стоит вопрос о правилах и терминологиях.

Нам удалось собрать мнения 42 экспертов в указанных областях, включая научных работников и практикующих специалистов в риск-инжиниринге и консалтинге. Некоторые оценки экспертов отбирались из удобоваримых литературных источников и дополнялись к уже имеющимся.

Экспертная оценка тех или иных терминов для понятия «риск», в объеме 60 баллов, выставлялась по шкале, сопоставимой с исходной шкалой частоты публикаций в доступной литературе (примерно 0÷64 доступных публикаций). Это позволяло сравнивать актуальность различных терминологических вариантов, применяемых в литературе, с их субъективной популярностью среди практических специалистов и научных работников в области рискологии.

Условная разница между величиной экспертной оценки и фактическим индексом упоминания конкретного типа термина «риск» в литературе может рассматриваться как некоторая функция ожидания ($\pm\Delta$). Если экспертная оценка термина превышает число публикаций на эту тему, это может служить для специалистов информацией об актуальности и перспективах в таких формулировках. И наоборот, если экспертная оценка ниже, чем число сопоставляемых и доступных смысловых публикаций, это можно оценивать как снижение актуальности таких интерпретаций искомого термина.

Если сгруппировать отдельные признаки рисков, наиболее часто встречающиеся в литературных источниках, по степени их убывания и соотнести их с результатами экспертных оценок, которые дают специалисты, связанные с риск-инжинирингом и научными исследованиями в этой области (табл. 6.1), можно сделать некоторые выводы о предпочтениях, оказываемых тем или иным формулировкам понятия «риск».

Сразу обратим внимание на общую тенденцию: чем меньше ссылок в литературе, тем, в целом, ниже и экспертная оценка для конкретного понятия риска. В частности, наиболее частыми в литературе являются ссылки на риск как на реализацию угрозы (в производственных системах) и его влияние на экономические показатели системы (поз. 1 и 2, табл. 6.1). При этом экспертные оценки этих двух формулировок далеко не самые высокие, что показывает на неудовлетворенность экспертов в их применении.

Обращает внимание высокая оценка экспертов на термины рисков, которые связанные с нарушением работы системы (поз. 4, табл. 6.1), как основы для аварий, неблагоприятных итогов рабо-

ты, человеческих жертв, экономических потерь и т.д. И функция ожидания для этого термина «риск» достаточно высока ($\Delta = +17$).

Таблица 6.1 — Объектность и принадлежность понятия «риск» в доступной научной литературе и экспертных оценках

№ п/п	Объектная принадлежность термина «риск»	Литературные ссылки	Экспертная оценка (60 баллов)	Показатель ожидания, Δ , ($\pm$)
1	Риск как реализация угрозы	64	38	(−26)
2	Риск как вероятность изменения доходов, ущерб	57	44	(−13)
3	Риск как вероятность события	44	53	(+9)
4	Риск свершения события, связанного с нарушением функционирования системы	38	55	(+17)
5	Риск как частотная характеристика события	29	28	(−1)
6	Риск как количество нежелательных потерь в зависимости от обстоятельств	25	29	(+4)
7	Риск как неопределенность событий	16	36	(+20)
8	Риск как вероятность события при условии наступления другого события	11	14	(+3)
9	Риск как производная от произведения вероятности на сумму последствий	10	4	(−6)
10	Риск как соответствие между актуальным настоящим и неопределенным будущим	2	5	(+3)

И наоборот, риски, связанные с событийностью, как их основой, занимают пока небольшую нишу в прикладной литературе, но при этом их актуальность у экспертов достаточно высока по сравнению с другими терминологиями (поз. 3, табл. 6.1).

Важные для нас формулировки риска, связанные с таким термином, как неопределенность (поз. 7, табл. 6.1), также получили свою оценку в экспертной среде, в особенности по материалам некоторых научно-практических конференций. Условная разница между экспертной оценкой и количеством литературных ссылок, как показатель ожидания, для седьмой позиции (неопределенность риска) максимальна для этого анализа и составляет 20 пунктов. Для сравнения, такая формулировка термина «риск», как событийный микст (поз. 8, табл. 6.1), имеет такой своеобразный индекс ожидания всего в 3 пункта.

Не самые высокие оценки и частота упоминаний в литературе свидетельствуют о возможном резерве этого направления в будущих исследованиях. И, в частности, возможно, что данная работа в этом плане окажется весьма полезной для специалистов. Ориентация на событийность, как субъектность для понятия риска, может оказаться весьма полезной для многих междотраслевых и многофункциональных терминологий, которые встречаются в литературных источниках. Примером наглядности этого является рис. 6.3.

В целом, достаточно высокую экспертную оценку получают те формулировки термина «риск», которые связаны с событийными ориентирами. При этом далеко не лидирующие позиции, как в литературе, так и в экспертных оценках, занимают наиболее часто встречающиеся вероятностные и частотные характеристики этого понятия. Многократно эксплуатируемые в самых различных источниках, эти понятия возможно уже не устраивают исследователей даже не в виде количественного параметра, а по фактическому смысловому наполнению результатов исследований или инжиниринговых экспертиз. К этому нас подталкивают и примеры многочисленных методов исследований в риск-инжиниринге применительно к экономическим, финансовым процессам, страховым компаниям, которые в своей работе уже давно

отошли от вероятностно-статистических методов анализа рисков в направлении качественного изучения показателей риска. При этом к количественным параметрам, которыми оценивается риск, все чаще относят чисто экономические показатели — ущерб, потеря, доход, экономическая эффективность и др.



Рис. 6.3 — Графическое отображение упоминаемости в литературе для отдельных терминов «риск», в сопоставлении с экспертными оценками специалистов

6.3. Обозначение термина «риск» и соответствие современным условиям

Очевидным является, что термин «риск» должен отвечать многообразию известных критериев и понятий. Он должен быть понимаемым во многих направлениях человеческой деятельности, для которых является актуальным и необходимым. Например, исходя из известных принципов системы анализа рисков и концепции контрольных точек *НАССР* (Hazard Analysis and Critical

Control Points), этот термин следует связывать с определяющими факторами, которые на него влияют. Их многообразие всегда приводит к некоторым качественным результатам и почти никогда, на практике, не предусматривает количественный анализ этого явления, по крайней мере, в статистическом аспекте.

В данной работе мы рассмотрели три таких позиции: события, время и энтропию системы, выражаемую через изменения информации и энергии. В объеме этих соображений и исходя из материала данной монографии дадим предположительное понятие риска следующим образом.

1. Риск — это бинарное отображение субъективной ожидаемости *события* на границе неопределенности, как функция стрелы *времени* и минимизации роста *энтропии* в направлении к его определенному состоянию.

Графическая интерпретация данного термина представлена на рис. 6.4. Уточненное определение может иметь тот же смысл, что и первое. А именно.

2. Риск — это бинарное отображение субъективной ожидаемости *события* на границе неопределенности, в основе которой лежат *временные и энтропийные* изменения в направлении к его определенному состоянию.

Бинарность отображения в понятии «риск», относящаяся к некоторому событию, как «неопределенность — определенное событие» или «1;0», зависит от временных рамок этого события и уровня его конкретизации, определяемого, как изменение энтропии системы за бесконечно малый временной отрезок ($\delta\tau$).

Определенный интерес в понятии «риск» представляет термин «субъективное...». Он отражает вариативность возможностей для различных событий из равнозначно предполагаемых, из которых только одно имеет возможность совершиться как рискообразующее в момент времени T_n . Временные и энтропийные изменения свидетельствуют о том, что появление рискового события является процессом динамическим и зависящим от изменения этих параметров. Свойству динамичности системы отвечает и применение термина «ожидаемость события», как один из реальных вариантов процесса перехода от неопределенности к определенному

событию. Таким образом, предложенная интерпретация термина «риск» соответствует тем свойствам для этого понятия, которые полностью были рассмотрены в данной работе.

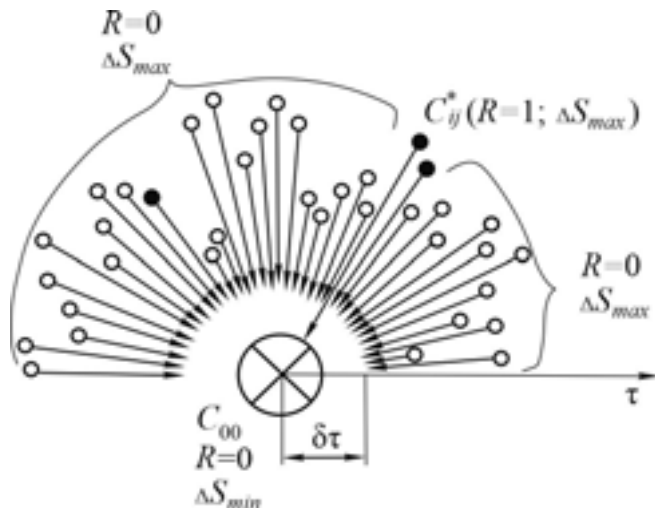


Рис. 6.4 — Графический смысл термина «риск» в координатах «событие — время — энтропия». Здесь: C_{ij} — текущее состояние события из числа предполагаемых в будущем (i — порядок временного интервала; j — ранг события); C_{00} — событие, свершившееся, из числа предполагаемых рискованных C_{ij}^* ; ΔS — изменение энтропии состояния системы при переходе от неопределенности ко вполне определенному состоянию; $\delta\tau \rightarrow 0$ — бесконечно малый интервал времени, отделяющий неопределенность от вполне определенного состояния системы

Следует отметить еще одно качество событийного риска во временной иерархии. Риск — понятие векторное, однонаправленное и совпадающее по направлению с вектором событий. Этим полностью оправдывает словосочетание «риск событийный», векторно направленный из предполагаемого будущего для такого события в настоящее, совершаемое в момент времени T_n .

На первый взгляд, сложность такого технического определения термина «риск» и его пояснение связаны с количеством

определяющих показателей — время, событие, энтропия. Но каждое из них является активным по отношению к данному термину и является его неотъемлемой составляющей. Авторы не претендуют на полную исчерпаемость данного определения, но могут настаивать на его объективности. В равной степени, такое определение может показаться малопримемым для гуманитариев, однако может стать поводом для более серьезных междисциплинарных исследований. В данном случае можно представить весьма упрощенное обозначение термина «риск» следующим образом:

3. Риск — *это альтернативное отображение субъективной ожидаемости события на границе неопределенности в направлении к его определенному состоянию.*

В таком определении остается очевидной временная и векторная зависимости, в упрощенной форме включенные в термин и обозначенные словом «ожидаемость». Формулировка содержит понятия дуализма и энтропии, связанных словосочетанием «альтернативное (бинарное) отображение». Сохраняется и понятие событийности термина. То есть, и третий, упрощенный, вид формулировки понятия «риск» почти не отличается от ранее предложенных. Но его смысл становится понятным для упрощенного применения.

Возможно, что такие определения имеют право на дальнейшее развитие, но мы уверены, что это правильный путь в решении очень непростой проблемы — терминологизации современного многообразного явления — «риск».

Рассмотрим составляющие этого термина в первой или второй интерпретации, включая понятия субъектности риска, а именно: субъекта риска, его объекта и предмета притязания. В данном случае:

- *субъектом риска* является событие, его ожидаемость, как качество этого события в рамках существующего и постоянно изменяющегося информационно-временного интервала собственно субъектной системы. Именно событие управляет риском;

- *объектом риска* является человек либо созданная им объектная система, подвергаемая риску;

– *предметом риска* является область деятельности человека, к которой относится фактическое событие, в том числе, внешняя среда, в том числе, изменения информации и энергии, иногда — предшествующие события.

Отдельным понятием в этих рассуждениях должно являться *событие*, как смысловое наполнение содержания термина «риск». В этимологическом смысле, чаще всего термин «событие» относится к тому, что происходит или уже произошло. Корни слова восходят от слов «быти», «быть», то есть — происшедшее. Синонимы термина: факт, явление, происшествие, случай. Но событием можно считать и то, что *предполагается* к происходящему, в зависимости от внешних обстоятельств и предположений, исходя из аналогов прошлого. Это предполагаемое событие, его варианты, которые придут к нам из предполагаемого будущего, с некоторым временным интервалом. В философии этим термином объясняются даже такие понятия, как вопросы времени и пространства, смысла бытия [11]. Для наших исследований важным является только смысл события и его временного наполнения.

В этом смысле понятие «события» может иметь следующее расширение, применительно к субъектности предмета наших исследований, которое, впрочем, не может претендовать на содержательную исчерпаемость.

Событие — это прогнозируемый человеком или последовательно реализуемый *порядок действий*, которые в динамическом аспекте изменяют систему или ее части в требуемом или произвольном направлении.

Субъектом события является внешняя среда, то есть, то, что чаще всего является предметом для термина «риск».

Объектом события является человек, что почти всегда сопоставимо с этим понятием для термина «риск».

Предметом события является область деятельности человека, что также может сопоставляться с соответствующим признаком для термина «риск».

Такое единоосмысление двух рассматриваемых терминов — «риск» и «событие» дает основание утверждать об их гносеологи-

ческом соответствии. Это крайне важно для вновь предложенной интерпретации термина «риск».

Следует понимать, что бинарность отображений в терминах «риск» и «событие» не совпадают. Риск, как бинарное отображение в направлении от неопределенности к определенному состоянию находится в соотношении «1;0», а «событие» как факт относится к этим состояниям в соотношении, противоположном «0;1», т. е. в неопределенном состоянии события как такового еще нет, а в момент определенности событие является уже состоявшимся в интервале времени $\delta t = (\tau_1 - \tau_2) \rightarrow 0$. На первый взгляд, такие понятия могут показаться упрощенными, но за ними имеется определенный смысл.

В таких рамках количественные показатели риска могут оставаться из числа общепринятых для оценки профильных рисков потерь или приобретений, то есть показатели, которые легко сочетаются с другими экономическими, социальными, техническими параметрами системы. Каждый из них является существенным именно для своего отраслевого назначения и поэтому легко читается в любых отчетах, исследованиях, прогнозах, что делает их удобными для использования (табл. 6.2).

Рассмотрим, каким образом понятие риска в предлагаемой нами этимологии соответствует ранее данным формулировкам применительно к уже известному. В таблице 6.3 показаны различия в субъектно-объектной ориентированности для различных вариантов определения термина «риск», взятых из литературных источников и относящихся к различным объектно-функциональным системам прикладного характера. Их различия мы видим как в отношении к субъекту и объекту данной системы, так и для собственно предмета притязаний в рамках указанной терминологии.

Таблица 6.2. — Специальные количественные показатели риска для различного объектно-функционального назначения

№ п/п	Показатели риска	Наиболее распространенные области применения	Единица измерения показателя	Диапазон
1	Материальный ущерб	Производственная сфера, социальные объекты, области коммуникаций, объекты энергетики, транспорта	Многообразие материальных ценностей	В зависимости от типа показателя до 80% материальных активов
2	Финансовый ущерб, недополучение выгоды	Банки, компании, предприятия, трасты, страховые системы	Денежные единицы	
3	Потери для жизни	Производственная сфера, социальные объекты, области коммуникаций, объекты энергетики, транспорта, военная область	Количество субъектов и тяжесть поражения	$\{0 \div 100\}$ в процентном отношении к исходному
4	Потери от заболеваемости и травматизма			
5	Выгода материальная или финансовая	Производственные, экономические объекты, банки, компании	Денежные единицы	В зависимости от типа показателя
6	Экономическая неустойчивость	Системы экономического влияния, предприятия, объекты государственного подчинения, социальные объекты	Денежные единицы, показатели социального благополучия или устойчивого развития	В зависимости от типа показателя
7	Экономическое или социальное неблагополучие			

Окончание табл. 6.2

№ п/п	Показатели риска	Наиболее распространенные области применения	Единица измерения показателя	Диапазон
8	Инженерная неустойчивость, техническая нестабильность работы объекта	Производственная сфера, социальные объекты, области коммуникаций, объекты энергетики, транспорта	Денежные единицы и эквивалентные показатели	Прогнозируемые и плановые меры потерь
9	Азартный результат	Игры, споры, пари, соглашения и договоры	Денежные, материальные активы	Индивидуальное обозначение
10	Поведенческая мотивация человека, сознательность риска, доминирующие потребности	Область взаимоотношений между людьми, управление и социальная сфера	Человеческий ресурс	-
11	Обобщенный неблагоприятный результат человеческой активности	Любая сфера, связанная с объектами человеческой деятельности	Материальный, денежный и человеческий ресурс	-
12	Причинно-следственные связи со стороны внешней среды	Субъекты риска в любой области деятельности	-	-

Таблица 6.3 — Смысловые определения для существующих в литературе интерпретаций термина «риск» в сопоставлении с предлагаемой терминологией

Определение термина «риск»	Функциональная принадлежность известного определения термина «риск»						Общие признаки совпадения с предлагаемым понятием «риска»		
	Производственные, инженерно-технические системы			Экономические, финансовые, социальные системы, бизнес					
	субъект	объект	предмет	субъект	объект	предмет	субъект	объект	Предмет
Термин А*	событие	человек объектная система	область деятельности человека	событие	объектная система	область деятельности системы	+	+	+
Термин В*	событие	человек объектная система	внешняя среда	-	-	-	+	-	+
							Субъектность и предмет риска		
Термин С*	событие определяемое	человек объектная система	событие определяющее	событие определяемое	объектная система	событие определяющее	+	+	-
							субъектность и объект риска		
Термин D*	-	-	-	субъектная система	событие	внешняя среда	-	+	+
							объект и предмет риска		
Термин E* Термин F* Термин G* Термин H*	-	-	-	субъектная система	событие	область деятельности системы	-	+	+
							объект и предмет риска		

Продолжение табл. 6.3

Определе- ние термина «риск»	Функциональная принадлежность известного определения термина «риск»						Общие признаки совпадения с предлагае- мым понятием «риска»			
	Производственные, инженерно- технические системы			Экономические, финансовые, социальные системы, бизнес			субъект	объект		Предмет
	субъект	объект	предмет	субъект	объект	предмет				
Термин I*	событие	объектная система, человек	внешняя среда	событие	объектная система	область деятель- ности системы	+	+	+	+
Термин J*	событие	объектная система, человек	область деятель- ности человека	событие	объектная система, человек	область деятель- ности системы	+	+	+	+
Термин K*	человек	объектная система	внешняя среда	событие неопреде- ленное	объектная система, человек	внешняя среда	-	+	+	+
Термин L*	событие опреде- ленное	объектная система	внешняя среда	событие опреде- ленное	человек	опасность внешних проявле- ний	+	-	+	+
Термин M*	время	личность, человек	область деятель- ности человека	время	личность, человек	социаль- ная среда	+	+	+	+
							Субъектность, объект и предмет риска			

Окончание табл. 6.3.

Определение термина «риск»	Функциональная принадлежность известного определения термина «риск»					Общие признаки совпадения с предлагаемым понятием «риска»			
	Производственные, инженерно-технические системы		Экономические, финансовые, социальные системы, бизнес			субъект	объект	предмет	Предмет
	субъект	объект	предмет	субъект	объект				
Термин N*	событие	объектная система	внешняя среда	событие, субъект-система	человек	Область деятельности человека	+	-	+
							субъектность и предмет риска		

Обозначения в таблице

- Термин A* — Риск, как вероятность наступления события, нежелательного для конкретного объекта.
Термин B* — Риск, как частотная характеристика опасных событий среди всех других, внешне связанных.
Термин C* — Риск, как частота одного опасного события при наступлении другого опасного события.
Термин D* — Риск, как произведение вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий.
Термин E* — Риск, как вероятность уменьшения доходов и увеличения расходов.
Термин F* — Риск, как вероятностное отклонение от ожидаемого исхода (выигрыш, или проигрыш).
Термин G* — Риск, как источник прибыли или убытка.
Термин H* — Риск, как событие, ведущее к ущербу в системе.
Термин I* — Риск, как неопределенное событие, ведущее к наступлению потери или приобретения.
Термин J* — Риск, как количество нежелательных потерь при плохом стечении обстоятельств.
Термин K* — Риск, как характеристика события, имеющего неопределенность исхода.
Термин L* — Риск, как реализация угрозы.
Термин M* — Риск, как соответствие между актуальным настоящим и неопределенным будущим в сознании личности.
Термин N* — Риск, как возможность для свершения события, связанного с нарушением функционирования системы.

Из сопоставления по представленным признакам следует, что:

- как минимум по два показателя объектно-функциональной принадлежности каждого из известных определений (в зависимости от профессиональной области деятельности) совпадают с ответными показателями предлагаемого нами, на наш взгляд, более универсального определения термина «риск»;

- терминологические совпадения для объектно-субъектных частей в известных и в новом определениях позволяют осуществлять содержательные сопоставления, закладываемые в различные понятия термина «риск»;

- общность смысловых понятий, относящихся к термину «риск» для различных видов рискообразующих систем и предложенного определения термина «риск», дают возможность их обобщения, в том числе, и по семантическим признакам.

Практически во всех формулировках прослеживается общий смысл: опасность для ущерба, а значит и риск, происходят от определенных событий, они направлены на человека или на области его активности и зависят от предмета явления, то есть, от внешних условий, от действий самого человека. В различных формулировках меняются только субъектно-объектные отношения, при этом смысловое наполнение термина остается неизменным, хотя и с ограниченным функциональным назначением.

Таким образом, можно утверждать, что обозначенная нами формулировка термина «риск», как парадигма ответственности человека за процессы и результаты своей активной деятельности, отвечает запросам общества на определенный уровень безопасности и состоит одним из главных основоположений его собственного существования как биологического вида.

ГЛАВА 7

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СОБЫТИЙНЫХ РИСКОВ

Мы показали, что операции с событиями тесно связаны с аналитической и мыслительной деятельностью человека. То есть, с деятельностью человеческого мозга. Работа мозга — это, прежде всего, последовательность логических умозаключений, правильных или ложных, обладающих свойствами причинно-следственной связи, разделения либо собирания образов, которыми оперирует мозг и др. Поэтому правильным было бы искать механизмы анализа и прогнозирования событийных рисков в некоторой близости от правил работы человеческого мозга. Мы попробуем обратить внимание на математический аппарат алгебры логик, теорию графов, а также на достаточно хорошо разработанную систему управления нейросетями. Модели нейрона, находящиеся в основе таких сетей, хорошо изучены и имеют собственный математический аппарат преобразований.

7.1. Инструментарии для описания и управления событийными рисками

Приняв за основу рискологии событийные риски, мы сознательно отошли от их постфактумного вероятностно-статистического содержания и соответствующего математического аппарата. Принимая во внимание, что вероятностные методы оценки рисков имеют право на существование, однако не дают возможности объективной оценки самого факта появления риска, его предупреждения, прогнозирования, авторы делают акцент на логическом наполнении содержания понятия «риск». Собственно, одно из главных качеств этого понятия, а именно, бинарность отображения, а также субъективность в ожидании *события* на границе неопределенности, дают представление

о механизмах, которыми можно оперировать при его численных и других оценках.

Оставляя право для риска иметь вероятностную характеристику, как количественную, но постфактумную значимость, следует подчеркнуть важное условие — прогнозируемость риска ради предотвращения появления таких событий, что кажется более актуальным в сравнении с его постфактумной количественной оценкой.

Механизм оценки событийных рисков в современных проектах постепенно смещается от вероятностных методов в сторону математической логики, в частности, булевой алгебры, логики высказываний и предикатов, теории графов, теории нейронных сетей и искусственного интеллекта. Подобный инструментарий предполагается, как более удобный и объективный, если перед исследователем ставится задача не только последующей за рискообразующим событием его оценки, но анализа предпосылок для его наступления, а также предупреждения (профилактики) событийных рисков. В основе такого математического аппарата лежит высказывание, которое является либо истиной, либо ложью. Если под таким логическим высказыванием иметь в виду лаконичную формулу отображения какого-либо события, то нас, в первую очередь, будет интересовать именно истинность или ложность его смыслового наполнения. К примеру, рассмотрим высказывание «сосуд под давлением взорвется, если его удерживать в зоне высоких температур». Высказывание может быть истинным, если достигается условие, при котором температура воздуха в окружающей среде превышает некоторый предел, или ложным, если температура окружающего воздуха ниже опасной. Оно может быть истинным, если продолжительность пребывания сосуда в зоне высоких температур достаточно высока. И может быть ложью, если это пребывание непродолжительно и сосуд не успевает нагреться выше допустимого. Это пример, в котором удобным математическим аппаратом выступает логика высказывания или логика предикатов. В механизмах таких высказываний заложены некоторые предметные или параметрические переменные. В зависимости от того, насколько эти переменные

являются обобщающими для объектов, можно говорить о применении теории высказывания или теории предикатов, возможно, булевой алгебры и др.

Булева алгебра. Алгебра двоичных чисел. Описывается непустым множеством X с бинарными операциями над выделенными элементами: 0 (или «Ложь») и 1 (или «Истина»). Первооснова современной математической логики. Построение всех современных информационных технологий, цифровых моделей. В ее основе лежит простое и достаточно емкое правило: $y = \begin{cases} 1, & \text{если выполняется условие "x"} \\ 0, & \text{если условие "x" не выполняется} \end{cases}$. Таким правилам подчиняются формализованные бинарные и унарные логические действия, которые могут осуществляться с двоичными числами в рамках этой алгебры, а именно.

– Конъюнкция или логическое произведение двух переменных (операция «И»). $x_1 \& x_2$ или $x_1 \wedge x_2$, или $x_1 \cdot x_2$. Имеет свою таблицу истинности.

Дизъюнкция или логическая сумма (операция «ИЛИ»). $x_1 \vee x_2$ или $x_1 + x_2$. И своя таблица истинности.

Логическое отрицание или инверсия переменной $x' = \bar{x}$. И тоже своя таблица истинности.

И далее, логические аксиомы: $0 \& 0 = 0$, $0 \& 1 = 0$; $0 + 0 = 0$, $1 + 1 = 1$; $1 \& 1 = 1$.

Нет необходимости излагать все подробности такой алгебры, заметим лишь ее способности создавать двоичные коды, которые затем стали основой большинства созданных позднее алгебр и видов математической логики.

Алгебра высказываний и предикатов. Логические высказывания, как элемент пропозициональной или символической логики, есть текстовая форма, при помощи которой в семантическом виде можно ответить на вопрос бинарного характера: «истина — ложь», «да — нет», в алгебраическом выражении $\{1; 0\}$ т.д. В отличие от других алгебр логики, пропозициональная логика не изменяет внутреннюю структуру своих элементов-высказываний.

Предикаты — это функция множественных значений типа $\{1; 0\}$, «истина — ложь», которая определяется на множестве

$M = \prod M_i$ таким образом, что каждый набор элементов характеризуется как «истина» или «ложь». Тождественная истинность или ложность предиката по определению записывается как

$$P(x_i) \equiv \begin{cases} 1, & \text{если любой набор на } x_n \text{ принимает значение } 1 \\ 0, & \text{если любой набор на } x_n \text{ принимает значение } 0 \end{cases} \quad (7.1)$$

Здесь $i=1, l, N$. Выполнимость предиката доказана, если хотя бы на одном наборе аргументов он принимает значение «1».

Темпоральная логика. Это логика высказывания, в которой учитывается временная его характеристика. Смысл и содержание события может меняться во времени. В данный момент времени это событие может быть истинным, а через некоторое время — это ложь. Но не одновременно. Высказывание «он читает» сейчас является истиной, но через определенное время становится ложным, потому что «он перестал читать». Имеет место следующая запись $y = \begin{cases} 1, & \text{если } x(\tau_0) = 1 \\ 0, & \text{если } x(\tau_0 + \Delta\tau) = 1 \end{cases}$. Иными словами, в темпоральной логике событие может иметь бинарное отображение при некотором временном условии. Например, «он читает» при условии наличия достаточной освещенности. «Он всегда читает», «он читает, пока есть свет». Или «он иногда читает». В темпоральной логике применяются традиционные логические операторы типа ($\vee, \wedge, \rightarrow, \neg$) или модальные операторы.

Модальная логика. Учитывает некоторые модальности, возможности появления истинных событий в зависимости от возможностей типа «может быть» при условии ..., или «не может быть», без условий. Модальность, в некотором обозначении, — это оценка, фиксирующая характер утверждения по значимости, по силе утверждения, по его утвердительности. Логика модальности предусматривает по крайней мере три логических оператора, а также многослойную ступенчатую структуру, альтернативность и даже неопределенность высказываний.

Обратимся к примерам.

Логическая схема $x > y$ из состава $x \in N$ и $y \in N$ в случае, когда $x = 5, y = 1$, верна, а в случае, когда $x = 5, y = 7$, не верна. Это универсальное высказывание, которое может относиться к огромному числу вариантов данной схемы. Эту схему можно

рассматривать не только в отношении численной вариации, но и в отношении предметов анализа. Под x и y можно понимать состояния и минералов, и животных, и завершенные отношения между субъектами, и соотношение информации в рассматриваемой системе. Применительно к событийным рискам для примера с сосудом под высоким давлением данная логическая схема может иметь вид: $\langle T_{\text{факт}} T_{\text{норм}} \rangle$, где сравнению подлежит фактическая и нормативная температуры воздуха в месте хранения баллона под давлением.

Если x и $y \in \{\text{животные}\}$, и x — это тигр, а y — это кошка, то отношение $x > y$ есть верное высказывание для их весовых данных или, например, для их агрессивности в отношении человека (тигр агрессивен по отношению к человеку, кошка — нет). А если x — это муравей, а y — это слон, то указанная выше логическая схема не верна в отношении их веса, но верна относительно их удельной грузоподъемности. Муравей поднимает грузы, значительно превышающие вес собственного тела, что не подвластно слону. Здесь применима логика предикатов.

Выше было показано, что в теории событийных рисков также существует понятие бинарности или логического отношения типа «да — нет», «истина — ложь». Событие или свершится, или его не будет. В этом заложен смысл событийного риска. Поэтому теория логики предикатов применима к механизмам определения рисков в плане их оценки как событий, приводящих к нежелательным результатам. Общая схема: для некоторого отношения состояний системы, являющихся результатом свершения события, рассматривается альтернатива «событие отношению принадлежит, или событие отношению не принадлежит». Такая постановка позволяет легко ответить на вопрос о месте событийного риска в логике предикатов. Как и в теории предикатов, в событийных рисках можно применять весь математический аппарат теории логики, а именно, операции конъюнкции, дизъюнкции, импликации и пр. В том числе, если понимать, что событие отображается некоторой картинкой, или образом, который является символом этого события. Например, событие «взрыв» сопровождается картинкой мгновенного разброса материальных частей в разные стороны на

фоне яркой вспышки. Событие «заход Солнца» сопровождается картинкой ярко выраженных горизонтальных линий в обрамлении гаммы цветов: от желтого шара к оранжевому ореолу, красному, синему, и даже зеленому оттенкам.

За предикатами, а следовательно, за событийными рисками закреплены понятия квантора общности и квантора существования. Нас может заинтересовать *квантор существования* для некоторой функции $F(x)$ в записи $\exists xF(x)$. То есть существует некоторый элемент $x \in X$ для которого выполняется это условие $F(x)$ из числа элементов, принадлежащих некоторому множеству X . В приложении к понятиям событийных рисков это означает существование вполне конкретного риска x из числа возможных X , для которого требуется условие, описываемое закономерностью $F(x)$.

Символы математической логики дают представление о предмете наших исследований. Это булева алгебра, представляющая собой управление цифровыми множествами, и формализованные операции с ними, для событийных рисков это параметрические описания. Алгебра высказываний и предикатов дает возможности для текстовых описаний событий и логических действий с ними. Темпоральная алгебра дает возможности для хронологического описания событийного риска, а именно, представление о том, как во времени меняется состояние системы и как можно формально это использовать.

Следует обратить внимание и на теорию графов, структурное описание ее моделей близко соотносится с иерархическими моделями, которыми можно оперировать при анализе событийных рисков.

Теория графов. Графом $G(G^0, G')$ называют совокупность, состоящую из конечного непустого множества G^0 , которым описываются вершины графа, и множества G' неупорядоченных пар (x_i, x_{i+n}) различных элементов множества G^0 , каждая из которых суть ребро данного графа, таким образом, чтобы выполнялось условие отображения $g: x_i \rightarrow x_{i+n}$.

Применительно к событийным рискам, в основе графопостроительной модели находится дуальное отображение конкретного

последовательности событий, каждое из которых описывается некоторым параметром или группой одноименных параметров и каждому из которых присваивается ранг вершины графа G_i^0 . А собственно событие, или функция, которая изменяет систему от одного вполне конкретного i -го состояния к другому $(i + 1)$ -му состоянию, описывается ребром графа $G'_{i,i+1}$ или функцией (x_i, x_{i+1}) . Таким образом графопостроительная модель общего вида $G(G_i^0, G'_{i,i+1})$, описывающая последовательность событий, приводящих к конкретному результату, имеет вид

$$\varphi: (X) \rightarrow (Y) \quad (7.2)$$

и обозначает, что при помощи некоторых действий, событий система из состояния, описываемого параметром x на i -м этапе разбиения, переходит в состояние, описываемое параметром x на следующем $(i + 1)$ -м этапе разбиения (рис. 7.1). Модели подобного вида также имеют свой формализованный аппарат преобразования [1], основанный на функциях математической логики, таких как сложение, вычитание, перемножение графов и др.

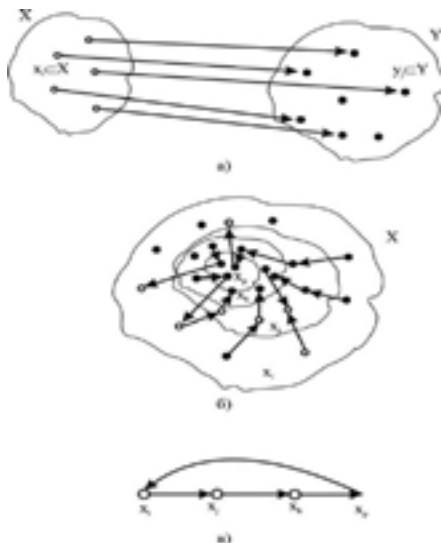


Рис. 7.1 — Понятие графа, как функции бинарного отображения

В применении к событийным рискам модель графопостроения может иметь следующий смысл. Благодаря некоторому событию, содержание которого описывается φ -функционалом, состояние системы изменяется от обычного X до состояния Y , при котором событийный риск реализуется.

К формальной логике графов примыкает логика нейронных сетей, которая вмещает в себя графопостроительное представление и описание состояния временного ряда любой последовательности событий, на основании которого строится простейшая модель нейрона.

Математическая логика нейронных сетей. Это весьма современный способ реализации альтернатив, логических схем, которые представлены определенными высказываниями, формализованными для удобства применения. Смысл их применения в теории событийных рисков сводится к возможностям сопоставления смысловых и формализованных терминов (предикатов) и возможностям совершать некоторые математические действия над этими событиями. Нейронные сети работают по принципу логической согласованности между такими событиями в масштабе собственно обучения и, поэтому, могут быть весьма удобными для решения задач о прогнозировании рисков, как производной от событийности в исследуемой системе. Модель нейронной сети упрощенно представляет собой вариант «черного ящика», подлежащего определенному обучению, в котором формирование выходного результата осуществляется по совокупности входных данных в соответствии с правилами работы обученного определенным образом набора слоев нейронов в этой сети [2]. Как правило, выходом нейронной сети является достоверность образов, закладываемых составителем в систему оценки ее работы, которые являются отображением некоторых запрограммированных событий. В известной мере, работа искусственной нейронной сети сопоставима с ее прототипом — человеческим мозгом: прежде чем распознать новый образ, мозг стремится распознать его свойства и только потом делает выводы. Искусственная нейронная сеть на основании ее обучения, то есть опыта, привнесенного в ее состояние во время обучения, и путем огромного количества сопоставлений, находит правильный ответ.

Количество разработанных вариантов моделей нейронных сетей достаточно обширно, и поэтому их прикладные возможности крайне велики. Это и наиболее простые сети прямого распространения (*Feed forward neural networks, FFNN*), и вероятностные сети. Существуют сети с обратными связями и рекуррентные сети (*Recurrent neural network, RNN*) для распознавания скрытых закономерностей в необработанных данных. Сверточные сети (*Convolutional neural network, CNN*) играют огромную роль в современных информационных технологиях. Современные *NN* отличаются архитектурой (структурой), особенностями работы и областями применения. В качестве примера отметим применение *NN* для прогнозирования, физических явлений в природе, ценовых изменений и других экономических показателей.

Нейронные сети, как равноправная и новейшая составляющая математической логики, позволяют нам получить методы прогнозирования состояния элементов системы последовательных событийных рисков. Этому способствует огромный наработанный материал, опубликованный в литературе, например, [3] и готовый к использованию в прикладных задачах. Ребрендинг подобных работ произошел после выхода классического труда Я. Гудфеллоу с соавторами [4], в котором ушедшее далеко от собственно нейронных сетей наименование моделей получило название *deep learning* — глубокое обучение, принимая во внимание широкие возможности целого класса таких моделей к распознаванию образов, специальных меток, к прогнозированию образных событий, что особенно актуально для материалов этой работы.

Современный термин «нейронные сети» *NN* давно перешел от своего корневого содержания в символическую значимость, и даже перерос свое предназначение для систем искусственного интеллекта. Удобная для использования в самых различных видах деятельности человека модель, в которой на заданные входные сигналы заранее обученная система самостоятельно выдает вполне логические ответы распознавания типа «да — нет», находит применение и в компьютерных технологиях, и в медицине,

и в прикладной инженерии, и в лингвистике. Эта область знаний с настойчивой периодичностью во времени находит своих потребителей, развиваясь и давая почву для новых прорывов в научных знаниях будущего.

Все указанные выше математические теории имеют применение в самых различных интерпретациях, как механизм формального отношения к широкому кругу объектов исследования во многих областях знаний. С таких позиций и следует принимать во внимание, что математическая логика была и остается современным эффективным инструментом для теории событийных рисков.

7.2. Перцептрон, как модель прогнозирования событийных рисков

Одна из распространенных и опосредованных целей нейронной сети NV заключается в распознавании образов, заданных исходными совокупностями сигналов, поступающих в сеть.

В системах рисков, которым посвящена эта работа, распознавание образов, под которыми понимаются состояния рискообразующих событий со своими весовыми коэффициентами, такие нейронные сети позволяют быть упрощенными потому, что на выходе такой сети должны стоять всего два нейрона, отвечающие на вопрос: существует ли реальный риск или его нет. Такая сущность — это всего лишь бинарное отображение типа $(0; 1)$. И не более. Поэтому нейронную сеть в качестве метода определения рисков достаточно легко обучить, пользуясь минимальными количествами промежуточных нейронных слоев.

Простая нейросеть — это набор исходных сущностей $x_i^{(0)}$, обозначенных числами условно от 0 до 1 на входе в сеть и составляющих начальный слой нейронов, и конечный результат y_0 и y_1 в виде выбора, который должен быть выраженным однозначно двумя цифрами — 0 или 1 (называется активацией нейрона). Например, нейронная сеть заполнена всеми возможными событиями (числа активации от 0 до 1), которые могут

на выходе привести или не привести к реальному риску только (цифры 0 или 1).

Таким образом мы записали только два нейронных слоя — начальный и конечный (рис. 7.2, а). Между ними должны находиться еще некоторое количество скрытых нейронных слоев, набор которых призван на каждом новом уровне обеспечивать распознавание и отсеивать те события, которые исключаются из состава рискообразующих, и оставить только те нейроны, которые приводят к потенциально рискообразующим событиям со своими весовыми коэффициентами. Каждый такой нейронный слой — это свой алгоритм перебора и взаимоисключения из слоя нейронов, которые в силу привязки их к какой-либо событийности, не соответствуют списку потенциально рискообразующих.

Важным моментом при этом является структуризация и разбор самих событий. Если каждое из них, так или иначе, связано с рискообразованием, следует выделять признаки этого рискообразования в каждом из событий. Как правило, такие признаки будут находиться в структуре всех упоминаемых событий, составляя исходную базу данных из нейронов начального слоя модели (см. рис. 7.2, а).

В рискообразующих системах, описываемых нейросетям, важно выбрать исходную точку отсчета, а именно — показатель, по которому оценивается рискообразующее событие. Эти признаки могут иметь вид параметрического ряда, либо критериев экспертных оценок, приведенных к виду от нуля до единицы, либо простых функций, которые лежат в основе этого события. Значений параметров для оценки опасности события может быть неопределенное множество. Это зависит от исходной постановки задачи. Такое множество, в результате функционального перебора в системе обучаемых нейронов скрытых слоев, приведет к определенному набору шаблонов в каждом последующем слое и т.д. Каждая предыдущая группа нейронов в скрытых слоях, таким образом, возбуждаясь, приводит к возбуждению группы нейронов (активации) в следующем слое, выделяя те из них, которые способны привести к потенциальному риску, и отсекая несущественные.

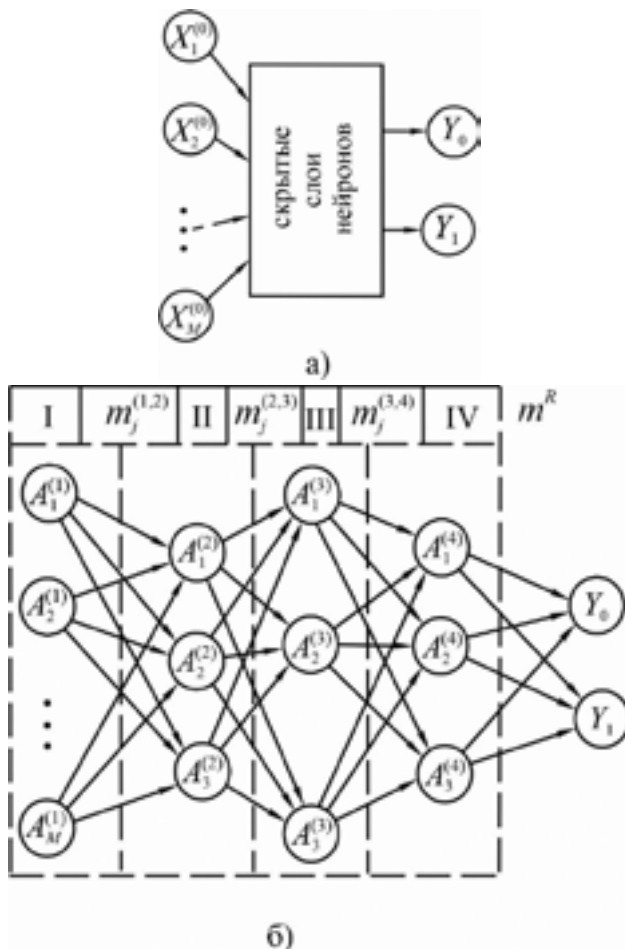


Рис. 7.2 — Обобщенная модель нейронной сети вида «черный ящик» (а) и структура скрытых нейронных слоев (б) в такой модели.

Здесь $x_i^{(0)}$ — исходный параметрический ряд, характеризующий потенциально рискообразующие события; y_0 и y_1 — возможные результаты

Каждый последовательный скрытый слой нейронов распознает события по ему одному приданному свойству (см. рис. 7.2, б). Например, для рискового события, связанного с воздействи-

ем токов высокого напряжения на рабочем месте, итоговым результатом является событие, либо приведшее «1» к поражению человека, либо отсутствие такого события «0». В первом скрытом слое нейроны настроены на отображение только тех из исходного множества событий, которые обучены комбинировать параметрические режимы работы оборудования, например, его штатный режим, бестоковый или нерабочий режим, тестовые режимы, аварийный режим, в зависимости от наличия в таком оборудовании открытых мест доступа с высоким напряжением и т.д. Второй скрытый слой представляет собой нейроны, которые могут активировать положительный сигнал, только если параметрически соотносятся с комбинациями событий, при которых человек находится рядом с одной из зон поражения. А третий слой нейронов принимает во внимание активации второго, но присовокупляет к ней способы выполнения работы в такой зоне и активирует события, связанные с этими работами. Следующий слой нейронов, принимая ко вниманию события, активированные в предыдущем слое, выделяет из них те события, которые могут быть связаны с наличием или отсутствием средств индивидуальной защиты, и уже активирует их. И наконец, итоговый результат работы обученной сети — это совокупность выделенных или активированных событий либо событие, которое однозначно приведет к объективной реализации риска.

В результате, активируется один из двух сигналов, отображающий в параметрическом плане событие, связанное с нахождением в зоне поражения человека, который должен выполнять там контактные виды работы, и при этом у него отсутствуют средства индивидуальной защиты. Возможны и другие варианты событий, которые могут привести к аварии.

Как отобразить параметры сети? Это могут быть шаблоны состояния системы (величины токов, напряжений, размеры зоны поражения, мощности оборудования, антропометрические данные рабочего) приведенных значений чисел от нуля до единицы. Необходимо назначить весовые коэффициенты m_{ij} каждому из назначенных соединений активации между предыдущим i -м и последующим $(i + 1)$ -м слоями нейронов. Здесь $i = 1, 1, M$,

$j = 1, 1, N$. Активации предыдущего слоя $a_i^{(1)}$ перемножаются с весами этих функций и суммируются так, что получаем

$$\sigma = \sum (x_i^{(1)} \cdot m_{ij}). \quad (7.3)$$

В результате мы получим определенный набор чисел, характеризующих исходную модель. Но, для того, чтобы функционировала нейронная модель, нам необходимо, чтобы уже эти числа ранжировались в масштабе от нуля до единицы. Проще всего это сделать при помощи логистической функции, или сигмоиды $\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$. Для такой функции сильно отрицательный ввод близок к нулю, а сильно положительный — соответствует единице. Функция монотонно возрастает в как раз в интервале значений вокруг нуля (от -1 до +1). Таким образом, активация нейрона становится мерой того, насколько положительна взвешенная сумма (7.1). Если по условиям задачи требуется активация нейрона в окрестностях не нуля, а другого значения, например, b_i (сдвиг активности), то уравнение (7.3) будет иметь вид следующего сигмоида

$$\sigma = \sum (x_i^{(1)} \cdot m_{ij}) \pm b_i. \quad (7.4)$$

Сдвиг определяет, насколько большой должна быть взвешенная сумма, чтобы нейрон стал активным. Это относится ко всей нейронной базе и является предметом обучения скрытых нейронов.

Общее число значений в модели составляет $\sum = N(M + N + b + 2)$. Процесс обучения сводится к поиску корректных значений всех этих чисел. Настройка всех этих чисел представляет собой процесс обучения модели нейронной сети. В таком случае, скрытые нейронные слои уже не являются объектом типа «черный ящик». Они связаны с моделью причинно-следственными связями. Такие соединения и связи можно записывать в матричной форме следующим образом. Активации i -го слоя объединяем в столбец (вектор). Затем объединим все веса в матрицу, каждая строка которой записывается объединениями нейронов одного слоя с конкретными нейронами следующего слоя

$$\sigma \left(\begin{bmatrix} m_{0,0} & m_{0,1} & \dots & m_{0,N} \\ m_{1,0} & m_{1,1} & \dots & m_{1,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{M,0} & m_{M,1} & \dots & m_{M,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0^{(1)} \\ x_1^{(1)} \\ \dots \\ x_M^{(1)} \end{bmatrix} \pm \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_M \end{bmatrix} \right) = [\sigma(a_i^{(j)} \cdot m_{i,j})]. \quad (7.5)$$

Таким образом, придав матрице весов и вектору активации свои обозначения, весь процесс перехода активации одного слоя к следующему имеет вид

$$a^{(j)} = \sigma(\ddot{M}x^{(j-1)} \pm b). \quad (7.6)$$

Здесь $\ddot{M}$ — матрица весовых коэффициентов. Такой подход весьма удобен при программном проектировании нейронных сетей, так как многие фрагменты библиотек на языке *Python* ориентированы на матричные модели.

Нейроны здесь принимают некоторые численные значения в зависимости от того, какое содержание в них вкладывается. Но правильно было бы считать функцией, которая принимает на себя выходы всех нейронов предыдущего слоя и выдает на выходе числа от нуля до единицы, как значимая активация или наоборот. На самом деле вся модель, это функция f из $\Sigma = N(M + N + b + 2)$ переменных параметров, которые на выходе модели приводят к одному из двух правильных результатов y_0 или y_1 .

$$f(x_0, \dots, x_\Sigma) = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (7.7)$$

Они дают ответ — какое событие из запрограммированных является реально рискообразующим. Такая функция изначально крайне сложна, и выразить ее комплексно не представляется возможным.

В основе подобных моделей нейронных сетей изначально лежит понятие и конструкция перцептрона (*perceptio* — восприятие), изначально известного, как кибернетическая модель восприятия информации мозгом. Напомним краткое содержание понятия перцептрон, как компьютерной модели нейрона, основные положения которой впервые сформулировал Ф. Розенблатт в 1958 году. Мы будем рассматривать эти положения в приложе-

нии к решению задач о событийных рисках. Причем, принцип работы моделей, которые будут представлены ниже, мы приведем к условиям временных событийных рядов. Главные задачи такой модели состоят в следующем:

- отличить значимость от незначимости, устойчивость от неустойчивости;
- согласовать инвариантные характеристики во временном ряду событий;
- определить время предсказуемости (прогнозируемости) события.

Для хронологических событийных моделей основными этапами анализа являются:

- графическое представление и описание состояния временного ряда последовательности событий;
- выделение и оперирование значимыми показателями последовательности событий;
- фильтрация причинно-следственных связей между значимыми показателями в последовательности событий;
- построение математической модели нейронной сети временного ряда со значимыми событиями;
- обучение нейронной сети, как способ формирования достоверной памяти для нейрона;
- прогнозирование будущего состояния системы на основании значимых событий в направлении роста их значимости.

Рассмотрим основные положения модели простейшего нейрона (рис. 7.3). Она включает три типа самостоятельных элементов:

- базовые «датчики» исходной информации (*S*-элементы) о потенциальном состоянии моделируемой системы, называемые входным паттерном;
- ассоциативные *A*-элементы, отвечающие за наборы «ассоциаций» внутри информации;
- реагирующий *R*-элемент (здесь он один), который отвечает за реакцию на выходе системы, как своеобразный сумматор накопившихся сигналов.

Базовая информация о системе в нашем случае — это информация о тех условиях, при которых возникает состояние по-

тенциального риска и его переходе в риск реальный. Например, это опасность взрыва баллона, находящегося под давлением. S -информация в этом случае относится к:

- физическому состоянию самого баллона;
- температуре и давлению вокруг самого баллона;
- возможности мгновенного повреждения баллона, в частности, из-за удара, детонации, тряски, глубокой коррозии и т. д.

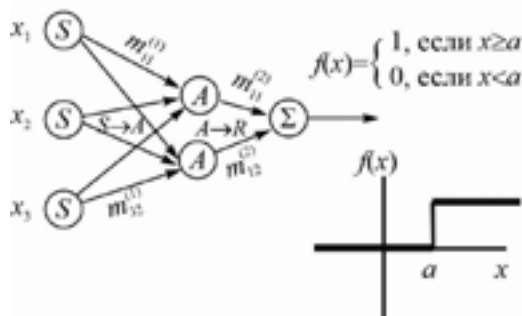


Рис. 7.3 — Общая схема модели перцептрона и ее функционирование для условия пороговой функции активации

Исходная или базовая информация от входного паттерна, состоящего из S -элементов, поступает в виде множества сигналов двоичного состояния «1;0» таким образом, что активизация скрытых A -элементов по т. н. ($S \rightarrow A$)-синапсам (связям входных данных с выходным результатом) происходит тогда и только тогда, когда на их входе количество согласованных активных сигналов «1» превысит некоторую заданную пороговую величину h . Если этого не происходит, на выход синапса генерируется нулевой сигнал. При этом одному A -элементу синапса соответствует несколько S -элементов. Результат комбинирования всех входных сигналов на этапе первого синапса согласовывается с весовыми коэффициентами m_i каждого входа для j -го нейрона в виде

$$net(j) = \sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i \quad (7.8)$$

и выдает единицу тогда и только тогда, когда сумма значений каждого из значимых состояний S -элементов превысит пороговое значение h .

На следующем этапе возбужденные A -элементы скрытого слоя нейронов транзитируются к реагирующему на них R -сумматору, который агрегирует все сигналы $x^{(A)}$ уже в масштабе некоторых весовых функций $m_i^{(A)}$ таким же образом и снова работает по правилу: на выходе имеем результат $f(x) = 1$, если сумма приведенных значений каждого из значимых состояний A -элементов превысит пороговое значение h . В противном случае этот элемент выдает на выходе «-1» или «0», в зависимости от настроек самого нейрона (гиперболический тангенс или логистическая функция). В самом общем случае, такая функция в виде $f(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \geq a \\ 0, & \text{если } x < a \end{cases}$ называется пороговой (см. рис. 7.3). Сигналы от R -сумматора, как выход системы, ее сумматорная функция $f(x)$ — это и есть результат работы нейрона.

Такая схема полностью иллюстрирует работу реального сложистого нейрона в мозге человека, в котором генерируемый сигнал, передаваемый по аксону, как электрический импульс (потенциал действия), вызывает выброс в синаптическую щель из везикул, находящихся в синаптической «бляшке», молекул медиатора. При этом выход нейрона представляется как формирование некоторого однозначного образа в виде отображения этого электрического импульса [12]. Аналогия напрашивается сама.

Рассмотрим конкретный методический подход к формированию нейронной сети.

Все исходные данные разместим в матрице объектов X размерностью $M \times N$; $i = 1, 1, M, j = 1, 1, N$. Общий вид матриц следующий:

Объекты, $i = 1, 1, M$	Характеристики объекта, $j = 1, 1, N$							Объекты
	1	2	...	j	...	...	N	
1								M
2								...
...								1

Объекты, $i = 1, 1, M$	Характеристики объекта, $j = 1, 1, N$							Объекты
	1	2	...	j	...	...	N	
i								...
...								...
...								i
...								...
...								
M								2

Каждая строка матрицы соответствует какому-то объекту, каждый столбец — сопоставимым характеристикам этих объектов. Так, ij -й элемент матрицы обозначает j -ю характеристику i -го объекта. Вторую матрицу Y размерностью $M \times 1$, сопоставительную, представим в виде столбца, каждая ячейка которого занята образцовой моделью i -го объекта, полностью соответствующего всем его характеристикам. Образцовая модель будет являться ответом на решение задачи о распознавании любого из названных объектов, которую мы сформулируем.

Задача звучит следующим образом.

Для исходных данных о нескольких объектах, основные и, главное, сопоставимые характеристики которых заданы, выбрать (распознать) тот объект, который мы ищем в соответствии с некоторой наперед заданной аналитиком функцией активации, которая по значениям сопоставимых характеристик объектов X будет распознавать образ Y .

Назовем ее $f(x)$ и поставим в зависимость от параметров задачи $f(X) \rightarrow Y$. Как правило, функцию активации выбирает сам аналитик, исходя из собственного опыта и внешних условий задачи.

К наиболее типичным функциям активации, которыми задаются в нейронных сетях, относятся

- пороговая функция $f(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \geq a; \\ 0, & \text{если } x < a; \end{cases}$
- функция гиперболического логарифма $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$;
- логистическая функция $f(x) = \frac{e^x}{1 + e^x}$;

– *ReLU — Rectified Linear Uni* (спрямлений лінійний вузол)
 $f(x) = \max(0, x)$, и другие.

Условиями задачи представляются *внешние и внутренние* параметры сети. Первые из них связаны с характеристиками объектов, числом их входных сигналов, их весовыми коэффициентами, в том числе, теми, которые дает нам нейронная сеть после обучения (корректировки коэффициентов), а также параметры заранее заданной функции активации. Вторые — с условиями, которые определяет аналитик, а именно, число активационных слоев в нейроне, характер функции активации нейрона, которому будет поручена задача, параметры ограничения и нормативные показатели, задаваемые аналитиком, характер обучения сети (корректировки коэффициентов). В целом, обучение нейронной сети — это процесс адаптационного уточнения весовых коэффициентов применительно к заданной активационной функции. Таким образом, формируется условная память нейронной сети, как отображение прошлого опыта, характерного для рассматриваемого объекта.

В связи с этим сделаем полезное уточнение: что такое память нейрона? И уточним, каким образом нейрон способен запоминать предыдущее состояние и может прогнозировать его на последующие состояния.

В основе здесь лежит система объективных весовых коэффициентов, которые нейронная сеть в процессе обучения сама «подгоняет» под уже существующие входные сигналы и потом транспонирует их на последующие весовые коэффициенты активационных сигналов внутри самого нейрона. Это явление в нейронных сетях носит название «коннективизма». В этих рамках понятия памяти как таковой нет. А есть последовательность постоянно действующих потоков сигналов, связанных весовыми коэффициентами, которые, в силу процедуры «обучения», выполняют роль условной памяти в нейроне.

Такое понимание особенно важно, если перцептрон приспособлен к решению задач прогнозирования нового результата. В данном случае задача прогнозирования сопоставляется с задачей распознавания объектов по их «образам», принятия решений

или, в нашем случае, сути предполагаемых событий « Y_0, Y_1 ». Принимаемая система образов двоичная по существу и отвечает в нейроне на вопрос об истинности или ложности исходного или транзитируемых во времени событий.

Очевидно, что для варианта прогнозирования риска наступающих событий, которые обозначаются в обобщенном виде дуально, как « C_1, C_2 », такие нейронные сети, в самом простом понимании, являются ограниченно монотонными (возрастающие или убывающие сигналы) и частично полностью связными, что существенно упрощает работу с ними. При этом не исключены другие варианты сетей, например, сетей с обратными связями, как вариант получения достоверного образа в слоисто-циклических, но только гомогенных сетях.

Уравнение, связывающее входную и выходную информацию перцептрона, в элементарном состоянии выглядит так

$$f(x) = \operatorname{sgn}(\sum_{i=1}^n m_i x_i - h) = \frac{d}{dx} |\sum_{i=1}^n m_i x_i - h| \quad (7.9)$$

где производная модуля в точке «0» строго не определена и может существовать только как среднее арифметическое от точек соответствующих производных слева и справа для нечетной функции $\operatorname{sgn}(x)$. Эта точка является точкой разрыва первого рода функции. В нашем случае x_i — информация о состоянии i -го события (по некоторому параметру x), m_i — весовой коэффициент i -го события в общем состояний системы по входному параметру x_i . В системе прогнозирования событийных рисков, когда восприятие потенциального риска связано с альтернативными суждениями, в качестве функции активации можно рассматривать спрямленную линейную функцию вида

$$\operatorname{ReLU}(x) = \begin{cases} x & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x < 0 \end{cases} = \max(x, 0). \quad (7.10)$$

Упрощенная модель перцептрона, связывающая логику входа — паттерн (x) и выхода $y = f(x)$ системы, показывая его зависимость от весовых функций и условий ограничения, можно представить следующим образом:

$$f(x, m, h) = \begin{cases} 1 & \text{если } \sum(m_i x_i - h) \geq 0 \\ 0 & \text{если } \sum(m_i x_i - h) < 0 \end{cases} = \max(1, 0). \quad (7.11)$$

Здесь $i=1,1, M$.

Полносвязная нейронная сеть прямого распространения со ступенчатой активационной функцией (см. рис. 7.3) отвечает на вопрос: каким образом различается объект сравнения в математической модели простейшего нейрона, описываемого условиями

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \geq h \\ 0, & \text{если } x < h \end{cases} \quad (7.12)$$

Условия достоверности образа, его сопоставления и прогнозирования могут иметь вид $\{1;-1\}$, или $\{1;0;-1\}$, или $\{1;0\}$, в зависимости от исходных правил, например, от величины порогового отклонения h конечного результата от истины предиката.

Модель разделяемых образов (см. рис. 7.4, а) и классификация векторов имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \geq 0 \rightarrow C_1 & |x_1, x_2|^T \in C_1 \\ 0, & \text{если } x < 0 \rightarrow C_2 & |x_1, x_2|^T \in C_2 \end{cases} \quad (7.13)$$

Другая ее запись:

$$m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 \geq 0 \rightarrow C_1 \quad (7.14)$$

$$m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 < 0 \rightarrow C_2 \quad (7.15)$$

Здесь C_1 и C_2 — это типы или классы разделения по взаимно противоположным признакам: вода и лед, белое и черное, пар и газ. Это может быть обобщенное разделение сигнала или разделение по какому-либо параметру и т. д. Для наших исследований важна классификация классов по событийным признакам. Такие признаки либо есть, либо их нет. Здесь

$$m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 = 0 \quad (7.16)$$

– это граница раздела двух типов (классов) событий, явлений. Далее из этого следует (см. рис. 7.4, б)

$$x_2 = -\frac{m_1}{m_2} \cdot x_1. \text{ Тогда } x_2 = -\frac{m_1}{m_2} \cdot x_1 \text{ и } x_2 = k \cdot x_1. \quad (7.17)$$

Это уравнение прямой, проходящей через начало координат с угловым коэффициентом k . Она носит название «разделяющей прямой». Если $f(x) = 1$, то такой результат относится к классу событий или явлений типа C_1 . В противном случае, если функция $f(x) = 0$,

то это относится к классу событий C_2 . Если система координат многомерная, то прямая превращается в «гиперплоскость». Этот график отображает возможности перцептрона к разделению их по свойствам объектов с линейно разделимыми образами.

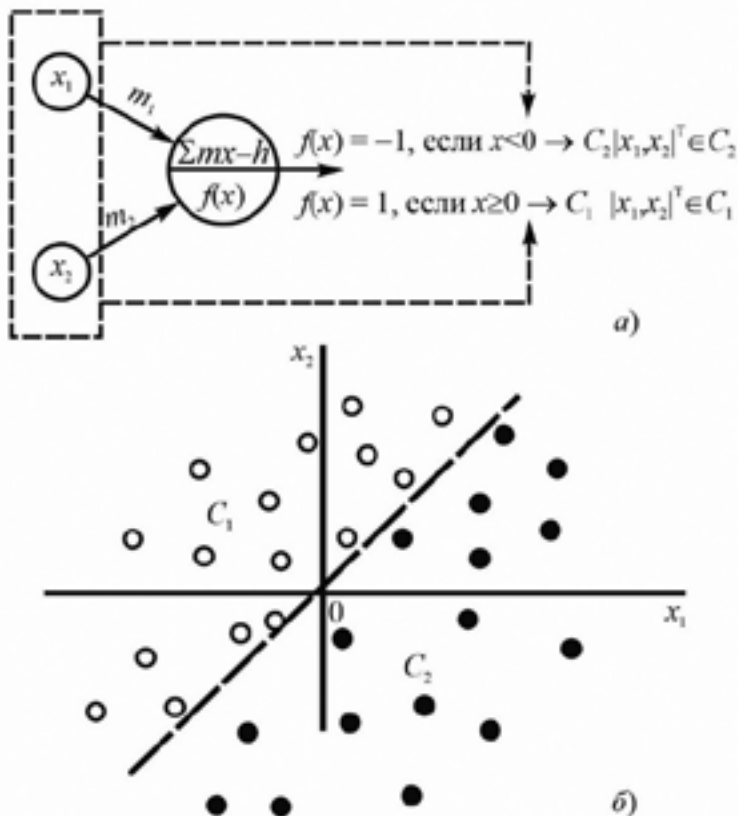


Рис. 7.4 — Элементарная нейронная модель различения образов: а) схема работы нейрона; б) графический механизм двухклассного разделения образов C_1 и C_2 (общий вид)

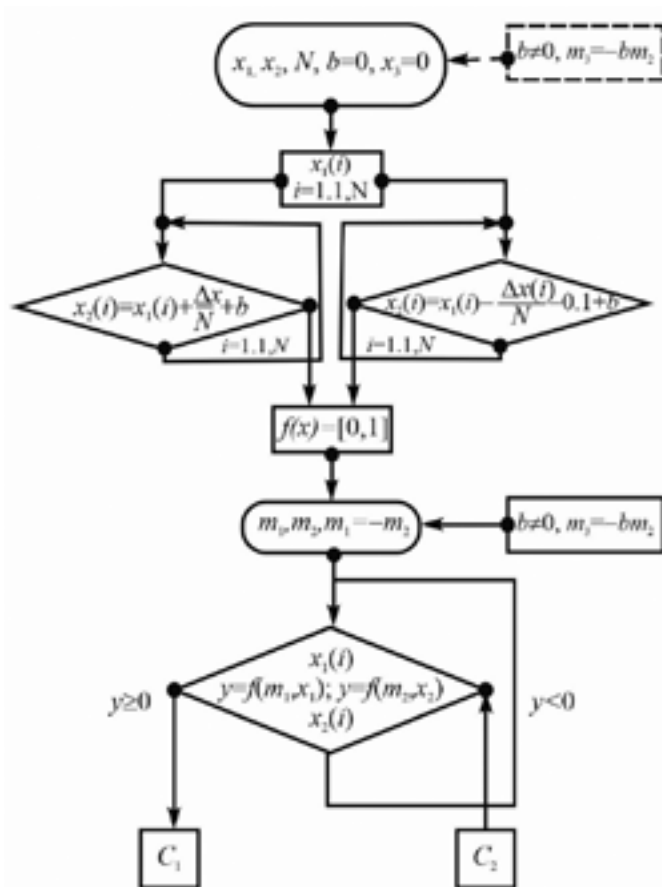


Рис. 7.5 — Унифицированная блок-схема решения задачи о распознавании образов ячейкой нейрона в типичном случае ($b = 0$) и при смещении разделительной линии ($b \neq 0$, см. ниже)

В качестве примера рассмотрим простейшую нейронную сеть (см. рис. 7.4, а), для которой примем условие $x_2 = 1 \cdot x_1$, $k = 1 = -\frac{m_1}{m_2}$. Выберем весовые функции сети $S \rightarrow A$ m_1 и m_2 . Очевидно, что они должны быть одинаковыми по размеру, но с разными знаками. Например, $m_1 = -0,3$, а $m_2 = 0,3$.

Алгоритм и блок-схема решения задачи о распознавании образов при помощи модели элементарного нейрона представлены на рис. 7.5. Далее моделируем эту простейшую нейронную сеть на языке *Python*. Здесь: N — число заданных образов для каждого класса; m_i — весовые коэффициенты соответствующих синапсов (связей входных данных с тем, что получается на выходе); $\Delta x(i)$ — случайное отклонение параметра каждого образа на числе N ; $f(x) = [0; 1]$ — отображение разделяющей линии, определяющей положение классов C_1 и C_2 . Подбор весовых коэффициентов, в данном случае это случайные инициализирующие параметры, проводится вручную. Программа распознавания симметричных образов при помощи простейшей нейронной сети представлена ниже.

Программа SPRS

(Symmetric Pattern Recognition Software)

```
Import numpy as np
Import matplotlib.pyplot as plt

N = 16
x1 = np.random.random(N)
x2 = x1 + [np.random.randint(10)/10 for i in range(N)]
c1 = [x1, x2]

x1 = np.random.random(N)
x2 = x1 - [np.random.randint(10)/10 for i in range(N)] - 0.1
c2 = [x1, x2]

f = [0, 1]
m = np.array(-0.3, 0.3)
for i in range(N)
    x = np.array([c2[0][i], c2[1][i])
    y = np.dot(m, x)
    if y >= 0
        print («Тип c1»)
    else:
        print («Тип c2»)

plt.scatter(c1[0][:], c1[1][:], s = 10, c = 'empty')
plt.scatter(c2[0][:], c2[1][:], s = 10, c = 'full')
plt.plot(f)
plt.grid(True)
plt.show()
```

Итог расчета.

```
C:\Users\Slava\appData\local\Programs\Python\Python38\python.exe
D:/Python/Projects/p_course\ex1.py
Класс c2
Класс c2
Класс c2
Класс c2
..... N = 16 .....
Класс c2
```

Результат представлен на рис. 7.6. Здесь два типа событий: C_1 и C_2 , корректно разделенные линией с указанными выше весовыми функциями.

Если указать тип C_1 и запустить программу, то получим корректный результат (см. рис. 7.6).

```
Класс c1
Класс c1
Класс c1
Класс c1
... N = 16 ...
Класс c1
```

—

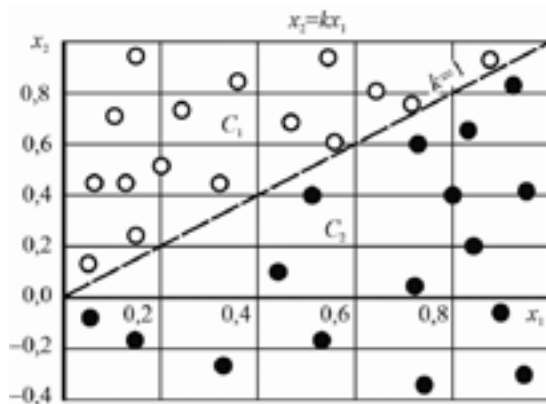


Рис. 7.6 — Результат анализа распознавания образа в элементарных моделях нейронов

Аналогичным образом можно получить и второй корректируемый результат, по классу событий C_2 (см. рис. 7.6).

На практике чаще встречаются случаи, когда все образы не симметричны относительно нулевой координаты, а самым случайным образом смещены относительно этой точки, например, рис. 7.7, а. Это также линейно разделимые области классов. При условиях (см. рис. 7.4, а) обязательны ошибки классификации. Для уточнения точности такой классификации линия разделения должна иметь смещение « b » относительно оси x_1 . Ее уравнение легко описывается следующим образом:

$$x_2 = kx + b = -\frac{m_1}{m_2} \cdot x_1 - \frac{m_1}{m_2} \cdot 1. \quad (7.18)$$

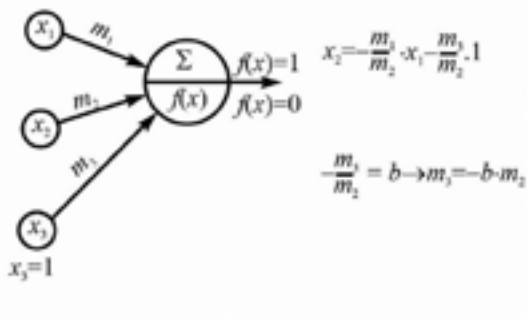
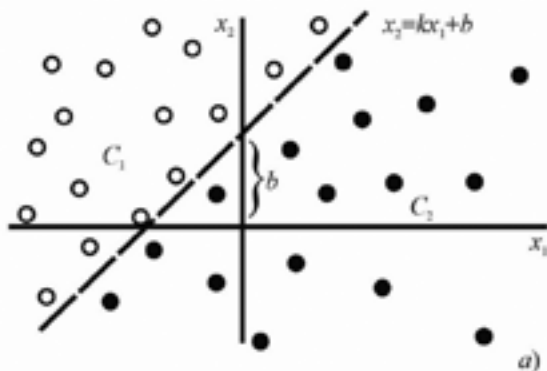


Рис. 7.7 — Модель нейрона с несимметричной относительно оси координат разделительной линией (параметр $b \neq 0$): а) графический механизм разделения образов на классы: C_1 и C_2 ; б) схема нейрона

В таких сетях (см. рис. 7.7, б) образы классов C_1 и C_2 классифицируются с учетом смещения разделительной линии благодаря третьему входу x_3 . По определению он всегда будет иметь размер «1» и весовую функцию m_3 . Тогда уравнение разделяющей линии может быть записано в таком виде

$$x_2 = -\frac{m_1}{m_2} \cdot x_1 - \frac{m_3}{m_2} \cdot 1, \text{ где } \left(-\frac{m_3}{m_2}\right) = b, \quad (7.19)$$

как некоторое заданное смещение.

Программа APRS

(*Asymmetrical Pattern Recognition Software*)

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

N = 16
B = 3
x1 = np.random.random(N)
x2 = x1 + [np.random.randint(10)/10 for i in range(N)] + b
c1 = [x1, x2]

x1 = np.random.random(N)
x2 = x1 - [np.random.randint(10)/10 for i in range(N)] - 0.1 + b
c2 = [x1, x2]

f = [0 + b, 1 + b]

m2 = 0.5
m3 = -b * m2
m = np.array(-m2, m2, m3)
for i in range(N)
    x = np.array([c1[0][i], c1[1][i], 1])
    y = np.dot(m, x)
    if y >= 0
        print («Тип c1»)
    else:
        print («Тип c2»)

plt.scatter(c1[0][:], c1[1][:], s=10, c='empty')
plt.scatter(c2[0][:], c2[1][:], s=10, c='full')
plt.plot(f)
plt.grid(True)
plt.show()
```

Весовой коэффициент m_3 можно определить как $m_3 = -b \cdot m_2$.

Программа распознавания несимметричных образов в данном случае будет работать так (см. алгоритм рис. 7.5).

Если указать класс C_1 и запустить программу, то получим корректный результат (рис. 7.6).

Итог расчета.

```
C:\Users\Slava\AppData\local\Programs\Python\Python38\python.exe
D:/Python/Projects/p_course\ex1.py
Класс c1
Класс c1
Класс c1
Класс c1
... N = 16 ...
Класс c1
```

Классификация верна. Аналогичным образом программа выдаст результаты по распознаванию образов класса C_2 . На рис. 7.8 показана линия разделения событий, маркированных как C_1 и C_2 . На задание определить типы событий или явлений программа отвечает с высокой точностью, выделяя события и класса C_1 , и класса C_2 . То есть за счет дополнительного третьего входа в модели нейрона можно классифицировать любые смещения в системе распознавания образов применительно к модели перцептрона. Такие линейные закономерности сохраняются для нейронных сетей любых размерностей.

Ручной подбор весовых функций возможен, если сеть небольшая и число нейронов в ней ограничено. Тем более, что на практике можно встретить более сложные распределения типов событий, которые невозможно классифицировать линейными разделителями. Например, если учитывать фактор линейности или нелинейности в событийной последовательности. В первом случае каждое последующее в цепочке событие является строгой производной от предыдущего. А во втором случае, последующее событие может быть производной от двух предыдущих параллельно протекающих событий, и зависимость эта будет явно нелинейной относительно этого

последующего события. Это более сложная задача, и мы ее пока рассматривать не будем.

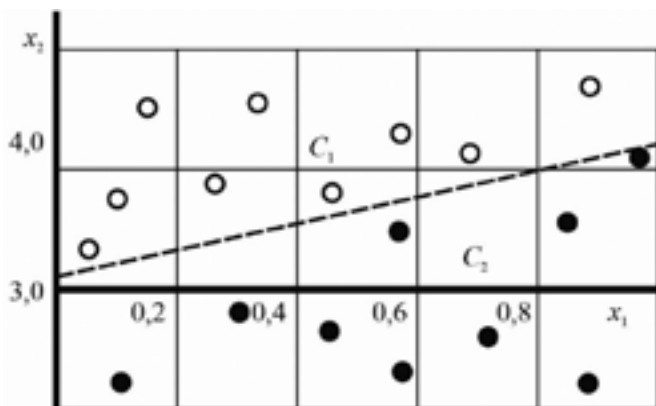


Рис. 7.8 — Условная линия разделения событий для системы распознавания несимметричных образов в перцептроне

В самом простом примере перцептрон корректно классифицирует эти два взаимоисключающих класса образов-событий, которые легко свести просто к двум прогнозируемым событиям. Корректность программного выбора должна быть равна или приближаться к единице. На практике такое случается весьма редко. Поэтому в практических моделях для уточнения получаемого результата включают алгоритм программной корректировки этого результата. Такая процедура носит название — обучение нейронной сети. «Обучение» нейронной сети является наиболее важным этапом при создании и обеспечении ее работы.

Общий методический подход к машинному обучению нейронной сети представляется следующим.

В обычной интерпретации искусственная нейронная сеть — это гладкая функция с достаточно большим набором входных переменных, смещений и результирующих выходов. Настройка или обучение такой модели ставит целью синхронизировать работу такой сложной функции цифровыми методами для получения максимально точного конечного результата.

Стандартный алгоритм обучения нейронной сети сводится к решению задачи о минимизации функции ошибки, вычисляемой методами математической статистики. Он представляет собой решение задачи обратного распространения ошибки или приближения к локальному минимуму этой функции путем последовательных шагов в сторону нулевой производной от этой функции. При этом важно знать, что эта функция непрерывна. Именно поэтому у искусственных нейронов, как правило, выбирается гладкая функция активации.

Порядок сдвигания значения функции обучения на отрицательный градиент называется методом градиентного спуска. С использованием метода градиентного спуска работают большинство обучающих алгоритмов в нейронных сетях. Здесь и далее мы будем ссылаться на работы М. Нильсона, Д. Арпит, Т. Абрахама и их коллег [5–11].

В стандартной нейронной сети каждый нейрон последующего слоя связан с каждым из нейронов предыдущего слоя так, что весовые коэффициенты m_{ij} характеризуют тесноту этих связей. Смещение b_k — это индикатор, показывающий часто ли нейрон бывает активен.

1. На первом этапе обучения зададим весовым коэффициентам m_{ij} и смещениям b_k произвольные и случайные значения, эмпирическим образом максимально приближенные к их реальным значениям. Очевидно, что с такими оценочными данными сеть правильно работать не будет. Она будет выдавать случайные действия и произвольные результаты далекие от истины. Но такой эмпирический набор переменных весов и смещений позволяет определить функцию ошибки, как квадрат разности между случайным значением веса нейрона и его истинной величиной. Такой показатель представляется как **ошибка обучающего примера**. Значение ошибки зависит от того, насколько верно выбранная функция активации определяет результат. Значение такой ошибки оценивается в каждом случае, на многообразии примеров из начальной выборки. Чем больше такая выборка, тем точнее показанная ошибка, среднее значение которой показывает, насколько низким является качество сети.

2. Мы говорим о том, что сеть — это функция, которая на входе имеет Σ значений входных весовых коэффициентов m_i и смещений b_k . И выдает нам на выходе два сигнала y_0 или y_1 (для случая с рискообразующими системами), в зависимости от настройки весов и смещений. Функция ошибки, обозначенная здесь как $G(\Delta m, \Delta b)$, представляет собой еще один мощный слой, который принимает на свой вход также Σ значений входных сигналов и смещений. Только в обратном порядке — от последующего нейрона к предыдущему. И выдает значение, показывающее отклонение от начальных значений весов и смещений.

3. Решение состоит в поиске минимума функции ошибки из Σ переменных. Нужно найти значения на входе сети, при которых для выбранных функций активации нейронов $\sigma(\Sigma(x_i m_{ij}) \pm b_k)$ значение функции ошибки $G(\Delta m, \Delta b)$ на выходе сети будет минимальным. В самом общем виде решение будет иметь вид $\frac{\partial G_{\min}}{\partial m}(m) = 0$, где $G(m_1, m_2, \dots, m_{\Sigma}, b_k)$.

Если производная функции положительная, значит функция возрастает. И наоборот. Путем пошагового приближения можно найти локальный минимум функции $\frac{\partial G_{\min}}{\partial m}(m) = 0$. Но число минимумов может быть неограниченным даже для одной функции. Существует библиотека программ, которые позволяют выбирать длину шага пропорционально величине производной: чем она меньше, тем меньшим должен быть шаг Δm и рассчитать $\frac{\partial G}{\partial m}(m) \rightarrow 0$ на любом интервале приближения к минимуму. Для одной функции такое решение не сложное, для множества переменных это не всегда возможно. В соответствии с правилами многомерного анализа, градиент функции показывает направление ее подъема. Отрицательный градиент функции ошибки

ки $-\nabla G(\Delta m, \Delta b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial(\Delta m)} \\ \frac{\partial G}{\partial(\Delta b)} \end{bmatrix}$ показывает направление, в котором

функция ошибки убывает. Длина вектора отрицательного градиента $-\nabla G$ указывает на крутизну убывания. Чем она короче, тем ближе минимум функции ошибки.

4. Для множества переменных Σ определяется сдвиг чисел, который вызовет самое большое убывание функции ошибки $-\nabla G(\Delta m, b)$. В итоге, обучаемая сеть с каждым шагом после последующей проверки выдает результат, все более похожий на истинный, в области минимума функции ошибки, которая все время включает в себя среднее отклонение на полной выборке переменных. Собственно, алгоритм оптимизации сводится к вычислению направления градиента и последующего за ним одного шага от него в сторону.

5. При решении такой задачи, коррекции подлежат все переменные в области $G_{min}(m'_1, m'_2, \dots, m'_\Sigma, b'_k)$. Уточненные значения всей последовательности переменных m'_i и b'_k становятся предпочтительными уже в модели гладкой функции активации обученной нейронной сети $\sigma(m'_1, m'_2, \dots, m'_\Sigma, b'_k)$.

Каждая компонента $-\nabla G$ указывает на два пункта:

- направление сдвига функции ошибки вниз или вверх от соответствующего компонента входного вектора;
- какие изменения весовых коэффициентов при этом оптимальные.

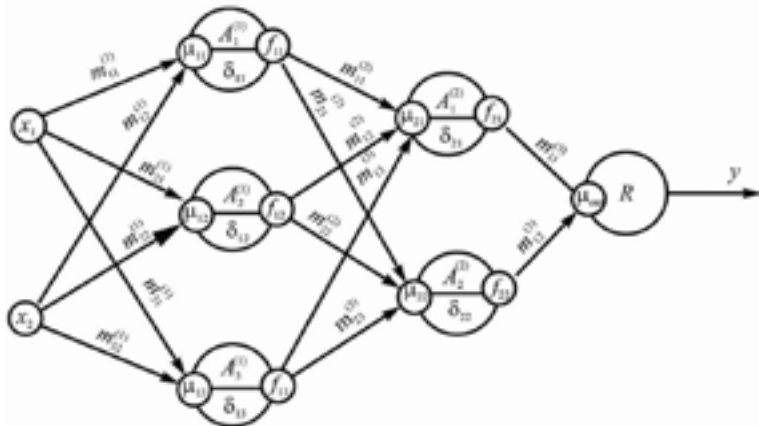
Подобная процедура, на языке перцептрона, относящаяся к «обучению», состоит в следующем. Сеть формирует некоторый выходной сигнал в виде функции $f(x)$. Для выбранной архитектуры нейронной сети общий вид такой функции определяется объемом паттерна, числом и структурой синапсов, размером синаптических (промежуточных) весовых коэффициентов. Корректная работа нейронной сети выбранной конфигурации определяется точностью некоторой поисковой функции $\varphi(x)$ такой, что для всех пар $(x_i, \varphi(x_i))$ отклонение функции $\varphi(x)$ от значений функции $f(x)$ не превышают значения некоторой ошибки ϵ . Такую функцию принимают за основу дальнейшей работы сети. Методов такой итерационной оптимизации достаточно много [12], они относятся к тому, каким способом достигается обучение сети. Например, метод градиентного спуска в пространстве весовых коэффициентов, метод сопряженных градиентов и др.

Конкретная схема такого обучения для многослойной (многосинапсной) сети в самом простом варианте включает следующее.

Задаются требуемые по условиям задачи весовые коэффициенты m_i для паттерна и для каждого A -синапса, а также пороговые значения нейрона.

1. *Задается шаг обучения p ($0 < p < 1$) и требуемая среднеквадратичная ошибка сети $\epsilon_{\text{зад}}$*
2. *Определяются исходные значения выходной функции $f(x)$ и соответствующие ей образы, как ожидаемые.*
3. *Осуществляется изменение весовых коэффициентов и порогов каждого нейронного синапса.*
4. *Определяется суммарная ошибка $\epsilon_{\text{расч.}}$ нейронной сети по отношению к первоначальным весовым коэффициентам.*
5. *Для условия $\epsilon_{\text{расч.}} > \epsilon_{\text{зад}}$ переходим к шагу 3.*
6. *Если $\epsilon_{\text{расч.}} \leq \epsilon_{\text{зад}}$ расчет закончен.*

Для нашего случая процесс обучения можно считать процедурой программной корректировки результата путем подбора и уточнения весовых коэффициентов. Рассмотрим наиболее типичные программы.



векторов наблюдений паттернов и последующей корректировке весовых коэффициентов так, чтобы выходное значение соответствовало максимально близко к требуемому отклику. Фактически это программа обучения нейронной сети, в которой обязательно должно быть требуемые или заранее запрограммированные значения функции отклика или выходной функции $f(x)$. То есть сеть должна на выходе показывать желаемый результат. Обозначим его как $\varphi(x)$.

Определим синапсы для каждого активационного уровня нейронной сети. В нейронной сети вида (рис. 7.9) на каждый активатор « $A^{(1)}$ » подается информация типа $m_{x,A^{(1)}}^{(1)} \cdot x_x$. Тогда вектор наблюдения у первого такого активатора записывается как

$$\mu_{11} = m_{11}^{(1)} \cdot x_1 + m_{12}^{(1)} \cdot x_2, \quad (7.20)$$

у второго:

$$\mu_{12} = m_{12}^{(1)} \cdot x_1 + m_{22}^{(1)} \cdot x_2; \quad (7.21)$$

и у третьего:

$$\mu_{13} = m_{13}^{(1)} \cdot x_1 + m_{23}^{(1)} \cdot x_2. \quad (7.22)$$

На выходе из первой группы активаторов получаем вторую активационную функцию вида $f_{11}(\mu_{11})$, $f_{12}(\mu_{12})$ и $f_{13}(\mu_{13})$ соответственно. Это новые векторы наблюдений, которые на входе во вторую группу активаторов « $A^{(2)}$ » будут иметь вид $m_{\mu A^{(2)}}^{(2)} \cdot f_{\mu}$ или

$$\mu_{21} = m_{11}^{(2)} \cdot f_{11} + m_{12}^{(2)} \cdot f_{12} + m_{13}^{(2)} \cdot f_{13} \quad (7.23)$$

для первого из них и

$$\mu_{22} = m_{12}^{(2)} \cdot f_{11} + m_{22}^{(2)} \cdot f_{12} + m_{32}^{(2)} \cdot f_{13} \quad (7.24)$$

для второго.

Выходом для второй группы активаторов « $A^{(2)}$ » являются функции $f_{21} = f(\mu_{21})$ и $f_{22} = f(\mu_{22})$ соответственно. И, значит на выходе из сумматора нас ждет функция $y = f(\mu_{out})$, где

$$\mu_{out} = f_{21} \cdot m_{11}^3 + f_{22} \cdot m_{12}^3. \quad (7.25)$$

Заранее предполагаемое значение функции выхода, обозначенное как $\varphi(x)$, вычитается из размерности функции выхода сети. Полученная разница $f(x) - \varphi(x) = \epsilon_{\text{расч.}}$ является поисковой ошибкой, которую совершила эта нейронная сеть. Следующий этап корректировки весовых коэффициентов с учетом ошибки $\epsilon_{\text{расч}}$ производится в обратном направлении нейрона.

Рассмотрим алгоритм обучения путем обратного распространения ошибки («*back propagation*»). Принцип его реализации на *Python* (например, для сети, см. рис. 7.9) следующий. Весовые коэффициенты нейронных связей составляют множество $[m_{11}^{(1)}, m_{12}^{(1)}, \dots, m_{11}^{(2)}, m_{12}^{(2)}, \dots, m_{11}^{(3)}, m_{21}^{(3)}] \in [-0,5; 0,5]$ и известны только оценочно с небольшой долей вероятности. Их эмпирический диапазон выбирается произвольно от $-0,5$ до $+0,5$. Каждому нейрону принадлежит его активационная функция $f(x)$.

Сделаем следующее отступление. Пороговые функции $f(x)$ вида (7.10–7.12) в случае, когда требуется корректировка весовых коэффициентов, уже не подходят, как не дифференцируемые на всем диапазоне x . Как альтернатива для сетей с небольшим количеством слоев активации используется формула гиперболического

тангенса $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$ или логистическая функция $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$.

И та, и другая функции есть не что иное, как формула некоторого переходного процесса, под которым следует понимать адаптационный механизм для обучения нейронной сети. Эти уравнения отличаются только уровнем фиксации сигналов. В первом случае это $f(x) = \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}$, а во втором — $f(x) = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$. Правда, пользоваться ими можно только в пределах нуля, так как в области стационарных значений этих функций их производная становится равной нулю и логика переходного процесса теряется, что, в свою очередь, делает процессы распознавания и прогнозирования абсурдными.

Допустим применение логистической функции, производная которой имеет вид

$$f'(x) = f(x) \cdot [1 - f(x)]. \quad (7.26)$$

Локальный градиент для корректировки весовых функций в такой сети записывается как

$$\delta = \epsilon \cdot f'(x) = \epsilon \cdot f(\mu_{out}) \cdot [1 - f(\mu_{out})]. \quad (7.27)$$

Здесь μ_{out} — точка входной суммы последнего нейрона. Поэтому, когда она проходит через функцию активации $f(\mu_{out})$, мы получаем последнее значение выходного нейрона. Значит, локальный градиент для последнего нейрона

$$\delta = \epsilon \cdot y \cdot (1 - \epsilon), \quad (7.28)$$

где ϵ — поисковая ошибка сети.

Коррекция весовых коэффициентов для последнего нейронного слоя производится следующим образом:

$$m_{11}^{(3)} = m_{11}^{(3)} - \lambda \cdot \delta \cdot f_{21} \quad (7.29)$$

и

$$m_{12}^{(3)} = m_{12}^{(3)} - \lambda \cdot \delta \cdot f_{22} \quad (7.30)$$

Здесь λ — шаг сходимости алгоритма. Он выбирается заранее и может влиять только на частоту коррекции. Например, $\lambda = 0,1$ и $\lambda = 0,01$ отличаются тем, что для достижения точности прогнозирования в первом случае потребуется десять циклов, а во втором случае — сто циклов коррекции. При этом второй вариант окажется более точным.

Подробный алгоритм применяется последовательно к каждому из нейронов первой группы активации в том же порядке, ради корректировки весовых коэффициентов типа $m^{(2)}$. Но для этого необходима информация об их локальных градиентах. Для этого берем локальный градиент для последнего нейрона и пропускаем его по входящим весовым коэффициентам связи $\delta \cdot m_{11}^3$ и $\delta \cdot m_{12}^3$. Таким образом мы перешли к нейронам предыдущего слоя. Теперь эти произведения мы умножаем на производную функции каждой из активаций первого слоя

$$\delta_{21} = \delta \cdot m_{11}^3 \cdot f'(\mu_{21}) = \delta \cdot m_{11}^3 \cdot [f_{21} \cdot (1 - f_{21})], \text{ относящуюся к активатору } A_1^{(2)} \quad (7.31)$$

и $\delta_{22} = \delta \cdot m_{12}^3 \cdot f'(\mu_{22}) = \delta \cdot m_{12}^3 \cdot [f_{22} \cdot (1 - f_{22})]$, относящуюся к активатору $A_2^{(2)}$ (7.32).

Далее корректируем входные связи $\{m_{11}^2, m_{12}^2, m_{13}^2, m_{21}^2, m_{22}^2, m_{23}^2\}$ активаторных слоев $A_1^{(2)}$ и $A_2^{(2)}$ последовательно следующим образом

$$\begin{cases} m_{11}^2 = m_{11}^2 - \lambda \cdot \delta_{21} \cdot f_{11} \\ m_{12}^2 = m_{12}^2 - \lambda \cdot \delta_{21} \cdot f_{12} \\ m_{13}^2 = m_{13}^2 - \lambda \cdot \delta_{21} \cdot f_{13} \end{cases} \quad \begin{cases} m_{21}^2 = m_{21}^2 - \lambda \cdot \delta_{22} \cdot f_{11} \\ m_{22}^2 = m_{22}^2 - \lambda \cdot \delta_{22} \cdot f_{12} \\ m_{23}^2 = m_{23}^2 - \lambda \cdot \delta_{22} \cdot f_{13} \end{cases} \quad (7.33)$$

И, наконец, корректируем весовые коэффициенты первого слоя нейросети. Суммы от каждого выхода $A_1^{(1)}$ рассчитываем, как

$$\sigma_{11} = m_{11}^2 \cdot \delta_{11} \pm m_{21}^2 \cdot \delta_{22}, \quad (7.34)$$

$$\sigma_{12} = m_{12}^2 \cdot \delta_{21} + m_{22}^2 \cdot \delta_{22}, \quad (7.35)$$

$$\sigma_{13} = m_{13}^2 \cdot \delta_{21} + m_{23}^2 \cdot \delta_{22}. \quad (7.36)$$

Мы получили локальные градиенты для нейронов первого слоя активации. Весовые коэффициенты для первого слоя нейросети корректируются следующим образом:

$$\begin{cases} m_{11}^1 = m_{11}^1 - \lambda \cdot \delta_{11} \cdot x_1, \\ m_{12}^1 = m_{12}^1 - \lambda \cdot \delta_{11} \cdot x_2, \end{cases} \quad (7.37)$$

$$\begin{cases} m_{21}^1 = m_{21}^1 - \lambda \cdot \delta_{12} \cdot x_1, \\ m_{22}^1 = m_{22}^1 - \lambda \cdot \delta_{12} \cdot x_2, \end{cases} \quad (7.38)$$

$$\begin{cases} m_{31}^1 = m_{31}^1 - \lambda \cdot \delta_{13} \cdot x_1 \\ m_{32}^1 = m_{32}^1 - \lambda \cdot \delta_{13} \cdot x_2. \end{cases} \quad (7.39)$$

Таким образом составлен алгоритм одной итерации для адаптации нейронных сетей под требуемый конечный результат распознавания или прогнозирования начальной информации посредством коррекции весовых коэффициентов каждого нейронного слоя.

В качестве критерия эффективности системы в программе корректировки весов мы получаем показатель минимум суммы квадратов ошибки на каждом этапе итерации.

$$E = \min [0,5 \sum \epsilon_i^2] = \min [0,5 \sum [\varphi(x_i) - f(x_i)]^2], \quad (7.40)$$

для $i = 1, 1, N$.

В качестве примера программного продукта составим алгоритм корректировки однослойной нейронной сети путем обратного распространения ошибки по заданным значениям требуемых откликов системы. Он является одним из наиболее простых и эффективных методов обучения многослойных нейронных сетей прямого распространения. Зададим векторы наблюдений и их выходные сигналы, представленные в табл. 7.1.

Таблица 7.1 — Размерности наблюдаемых итераций в сети (см. рис. 7.9)

Вектор наблюдений (вход в сеть)	Число итераций	Требуемая функция отклика (выход из сети)
$[-1, -1, -1]$	8	0
$[-1, -1, +1]$	8	+1
$[-1, +1, -1]$	8	0
$[-1, +1, +1]$	8	+1
$[+1, -1, -1]$	8	0
$[+1, -1, +1]$	8	+1
$[+1, +1, -1]$	8	0
$[+1, +1, +1]$	8	0

Для разнообразия примем в качестве функции отклика уравнение гиперболического тангенса $f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1$, для которого производная запишется в таком виде

$$f'(x) = 0,5[1 + f(x)][1 - f(x)]. \quad (7.41)$$

Программа на языке *Python* представляет собой следующее. Предварительно: $N = 1000$ — число итераций. Шаг обучения выбираем 0,01. Начальные значения весовых коэффициентов $m_1 = (-0,2; 0,3; -0,4)$ и $(0,2; -0,3; -0,4)$ соответственно, для первого слоя и $m_2 = (0,2; 0,3)$ — для второго слоя. Нормализация входных значений осуществляется по формуле $\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \rightarrow [0; 1]$.

Програма ASAWC (Automatic Selection and Adjustment of Weighting Coefficients)

```
Import numpy as np
```

```
Def f(x) :
```

```
    Return 2/(1 + np.exp(-x)) - 1
```

```
Def df(x) :
```

```
    return 0.5*(1 + x)*(1 - x)
```

```
m1 = np.array( [ [-0.2, 0.3, -0.4], [0.1, -0.3, -0.4] ] )
```

```
m2 = np.array( [0.2, 0.3] )
```

```
def go_forward(inp) :
```

```
    sum = np.dot(m1, inp)
```

```
    out = np.array( [f(x) for x in sum] )
```

```
    sum = np.dot(m2, out)
```

```
    y = f(sum)
```

```
    return (y, out)
```

```
def train(epoch) :
```

```
    global m2, m1
```

```
    lmd = 0.01
```

```
    N = 10000
```

```
count = len(epoch)
```

```
for k in range (N) :
```

```
    x = epoch [np.random.randint (0, count) ]
```

```
    y, out = go_forward(x [0:3] )
```

```
    e = y - x[-1]
```

```
    delta = e*df(y)
```

```
    m2[0] = m2[0] - lmd*delta* out[0]
```

```
    m2[1] = m2[1] - lmd*delta* out[1]
```

```
    delta2 = m2*delta*df(out)
```

корректировка связей первого слоя:

```
m1[0, :] = m1[0, :] - np.array(x[0:3]) * delta2[0] * lmd
```

```
m1[1, :] = m1[1, :] - np.array(x[0:3]) * delta2[1] * lmd
```

полная выборка:

```
epoch = [(-1, -1, -1, -1)],  
        (-1, -1, +1, +1),  
        (-1, +1, -1, -1),  
        (-1, +1, +1, +1),  
        (+1, -1, -1, -1),  
        (+1, -1, +1, +1),  
        (+1, +1, -1, -1)  
        (+1, +1, +1, -1)
```

запуск оптимизации сети:

```
train(epoch)
```

проверка полученных результатов:

```
for x in epoch :
```

```
    y, out = go_forward(x[0:3])
```

```
    print(f'выходное значение НС: {y}') => {x[-1]}")
```

получаемый результат:

```
C:\Users\Slava\AppData\local\Programs\Python\Python38\python.exe
```

```
D:/Python/Projects/p_course\ex1.py
```

```
    выходное значение НС: 0.025045697182568327 => -1
```

```
    выходное значение НС: 0.928168296301626 => 1
```

```
    выходное значение НС: -0.8714019807757667 => -1
```

```
    выходное значение НС: 0.8747273133388775 => 1
```

```
    выходное значение НС: -0.8747273133388778 => -1
```

```
    выходное значение НС: 0.8714019887757667 => 1
```

```
    выходное значение НС: -0.9281682963016259 => -1
```

```
    выходное значение НС: 0.025045697182568216 => -1
```

```
Process finished with exit code 0
```

Из полученных данных видно, что нейронная сеть выдала результирующие выходные значения вблизи точек назначения с погрешностью $-2,5\% \div +13\%$. В идеальном случае, погрешности путем последующих итераций можно свести к нулю, но в практических расчетах этого не требуется. Потому, что даже такой приблизительный выходной результат может объективно указывать на наличие (+1) или отсутствие (–1) предпосылок для конкретного события, стоящего за этими адаптациями.

Из всех возможностей, которые представляет для нас механизм обучения «*back propagation*», в прикладном значении нас могут интересовать задачи стандартизации входной информации

и подачу ее на вход сети, какими критериями качества работы сети можно следовать.

Нейронная сеть представляет собой выгодный механизм распознавания образов событий, исходный перечень которых представляется в виде входной информации. Как правило, эта информация относится к самым различным событиям и, поэтому весьма свободна от стандартных символов. Задача обучения сети, в первую очередь, относится к поиску стандартных параметров, относящихся к большинству событий. Вариантов может быть два.

1. Произвольный выбор обобщающего параметра и локальная подгонка весовых коэффициентов, отображающих этот параметр к некоторому перечню классов: C_1 или C_2 , в нашей интерпретации.

2. Согласование весовых коэффициентов путем механизма «*back propagation*» с последующей итерацией полученных коррекций с нормализованными входными сигналами в их иерархии. Иерархия входных сигналов задается пользователем на основании собственного опыта и возможных ошибок прошлого.

При выборе класса событий нам необходимо учитывать возможные ошибки нейронной сети, в особенности, если это касается большого масштаба выбора решений на каждом этапе активации нейронов. Такую задачу легче решать ступенчато, с использованием простых моделей нейронов. Ступенчатость решения дает право на ошибку, которая не может быть антагонистической и привести к неправильному выбору конечного результата. Такая ошибка может быть скорректирована за счет механизма «*back propagation*».

Рассмотрим вопрос о конфигурации принимаемого нейрона в сети. А именно, о размере паттерна и числе синапсов. Много-синапсный перцептрон строится исходя из условий выбора его параметров по следующей схеме.

1. Определяется содержание каждого компонента в составе входного паттерна x_i , исходя из формализованного условия задачи.

2. Выбирается вектор выходного сигнала $f(x)$ нейрона таким образом, чтобы он соответствовал полному отображению закладываемых в задачу образов.

3. Избирается модель активации нейрона с учетом особенностей прикладной задачи.

4. Принимается число синапсов в модели нейрона и количество нейронов для решения поставленной задачи. Этот процесс во многом ситуативный и зависит от опыта задающего.

Оптимизация количества входных сигналов для любого события является гарантией последующей его унификации и формализованного применения. Структура активаторов зависит от структуры входных сигналов системы и поэтому тоже легко унифицируется в единой схеме принятого нейрона. Конфигурация нейронной сети в пределе может состоять из унифицированных нейронов, объединенных по правилам принятой системы событий, определяемых во времени. В таком случае задача унификации нейронных сетей, примененных для решения конкретной задачи в области прогнозирования рискообразующего события, существенно упрощается.

В сетях прямого распространения можно принять вариант поиска итеративного локального минимума искомой функции, в виде последовательного дифференцирования этой функции с некоторым шагом итерации $\lambda = 0,1 \div 0, (0)1$

$$x_{j,i+1} = x_{j,i} - \lambda \frac{\partial f(x_{ji}, x_{j+1,i}, x_{mi})}{\partial x_{ji}} \quad (7.42)$$

таким образом, что минимум значения функции будет соответствовать условию $x_{j,i+1} = x_{j,i} \pm \lambda \cdot k$. Здесь λ можно принимать как адаптивную скорость обучения. Если ее значение в уравнении (7.39) велико, то количество итераций мало, но при этом есть опасность «перепрыгнуть овраг», то есть перешагнуть через минимум функции. В процессе обучения необходимо иметь возможность для корректировки λ . Чем меньше производная от функции активации в точке $x_{i,j}$, тем меньшее начальное значение коэффициента $\lambda \rightarrow 0$ можно указывать, и тем более мелкими шагами можно итерировать обучение, и наоборот, чем больше расчетные значения производной от активационной функции, тем выше значение $\lambda > 0$ можно выбирать для итерации, тем самым экономя время обучения системы. Такой подход в более конкретном исполнении называется методом градиентного спуска.

Без вывода запишем общую формулу для корректировочных значений весовых коэффициентов внешнего активационного слоя, получаемых методом градиентного спуска [13]

$$m_{ji}^b(n+1) = m_{ji}^b(n) + \lambda \cdot e_i(n) \cdot y_i(n) \cdot \varphi'_b(v_i(n)), \quad (7.43)$$

где n — порядковый номер итерации; e_i — ошибка вычисления $(\sum(y - \bar{y})^2)$; y — выходное значение нейрона на n -м этапе итерации; φ'_b — производная промежуточной $(n+1)$ -й внутренней активационной функции $f(x)$, если только она не последняя. Второй член уравнения — это поправка к весовому коэффициенту на $(n+1)$ -м этапе итерации.

Корректировочные значения весовых коэффициентов внутреннего активационного слоя получаются следующим образом:

$$m_{ji}^b(n+1) = m_{ji}^b(n) - \lambda \frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)}, \quad (7.44)$$

где $m_{ji}^b(n)$ — весовой коэффициент на предыдущем этапе итерации.

Производная сложной функции определяется как

$$\frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)} = \frac{\partial E(n)}{\partial y_i(n)} \cdot \frac{\partial y_i(n)}{\partial v_i(n)} \cdot \frac{\partial v_i(n)}{\partial m_{ji}(n)} \quad (7.45)$$

и

$$\frac{\partial v_i(n)}{\partial y_i(n)} = m_{ji} = \frac{\partial(\sum_i m_{ji}(n) \cdot y_j(n))}{\partial y_j(n)} \quad (7.46)$$

или

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)} = \\ = -\sum_i [e_k(n) \cdot m_{ji}(n) \cdot \varphi'_c(v_i(n))] \cdot \varphi'_b(v_i(n)) y_i(n) \end{aligned} \quad (7.47)$$

и показывает изменение коэффициента $m_{ji}(n)$ на $(n+1)$ -м этапе итерации. Здесь φ'_c — производная активационной функции внешнего слоя активации; φ'_b — производная активационных функций предыдущего внутреннего слоя активации

Этот метод показывает нашу зависимость от начальной точки итерации (инициализация). Это требует многочисленных попыток нахождения начального значения весовых коэффициентов при обучении сети. Это задаваемые аналитически значения, которые

в первом варианте должны отвечать смысловым значениям входных сигналов. Только при этом в последовательности значений (m_{ji}) значение (m_{j0}) может увести нас в сторону от требуемого минимума. Для преодоления этого метод требует огромного количества итераций и попыток в разных начальных точках.

В литературе в таких случаях рекомендуется избирать значения $m_{j0} \rightarrow 0$ $[0, (0)1]$, используя для этого современные вычислительные мощности [14].

Для формализованного решения прикладных задач в области прогнозирования событийных рисков с применением нейронных сетей предлагается применение следующего алгоритма действий (с учетом вышеизложенного).

1. *Определение оптимального количества и состояния входных сигналов, обеспечивающих действие рискообразующей системы по каждому из изучаемых событий.*

2. *Присвоение исходных значений весовых коэффициентов m_i в паттерне x_i .*

3. *Создание необходимой структуры активаторов, обеспечивающих управление системой, индивидуально для каждого рискообразующего события.*

4. *Определение конфигурации нейронной сети по индивидуальному подходу для каждого рискообразующего события.*

5. *Расширение и унификация конфигураций нейронных сетей для оценки реальности рискообразующих событий.*

6. *Формирование унифицированного алгоритма корректировки весовых коэффициентов входных и активационных весовых коэффициентов в схеме нейронной сети (обучение сети).*

7. *Расчет выходного вектора $\varphi(x_i)$ по результатам обучения в масштабах принятой ошибки ϵ . Он и будет конечным решением задачи.*

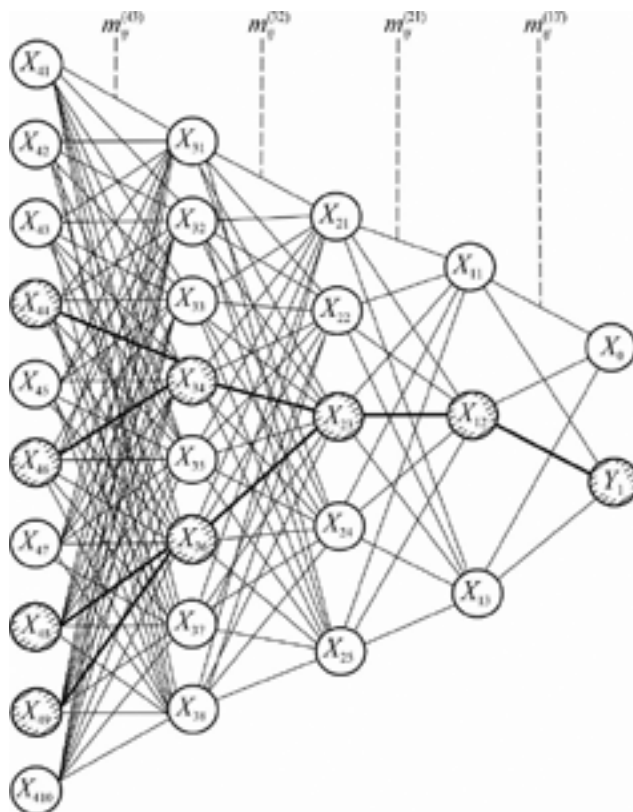


Рис. 7.10 — Модель нейронной сети NN к системе распознавания рисков в системе, изображенной на рис. 3.2 (гл. 3)

В качестве иллюстрации к изложенному материалу можно представить нейронную сеть модели событий, для оценки реального риска, представленной на рис. 3.2, где показаны события и их причинно-следственные связи во временной зависимости. Модель соответствующей нейронной сети показана на рис. 7.10. Здесь $x_i^{(A)}$ — обобщенный параметр для совокупности событий, играющих роль с данной модели; A — ранг синапса или скрытого слоя в нейронной модели заданной конфигурации. Показатель тесноты связей между параметрическими данными в каждом

слое $m_{ij}^{(AA)}$ — это весовой коэффициент, который принимается на основании эмпирических данных и уточняется в ходе «обучения» сети. В качестве функции активации можно выбрать логистическую функцию $f(x) = \frac{e^x}{1+e^x}$ либо ReLU $f(x) = \max(0, x)$. Параметр $\Sigma = (10 + 5) \cdot 8 + (5 + 2) \cdot 3 + 10 + 2 = 153$.

Очевидна, что структура нейронной сети (см. рис. 7.10) почти полностью повторяет конфигурацию ориентированного графа (см. рис. 3.2). В двух вариантах интерпретации одной и той же задачи присутствуют последовательности входных сигналов и их синапсные преобразования, которые обеспечиваются заданной функцией активации $f(x)$ таким образом, что

$$f(x): x_i^{(A)} \rightarrow x_{ij}^{(A+1)}, \quad (7.48)$$

где $x_i^{(A)}$ — значение событийного параметра на предыдущем (A) -м активационном слое, состоящем из i заданных событий, а $x_{ij}^{(A+1)}$ — значение событийного параметра на последующем (A) -м активационном слое, состоящем из j заданных событий, связанных с каждым i -м событием предыдущего (A) -го слоя активации функцией $f(x)$. Отличие нейронной модели от модели ориентированного графа заключается в исходной заданности функции $f(x)$ для первой из них, и возможности для осуществления процесса обучения, то есть приспособления этой функции к исходной базе параметрических данных для всего событийного ряда, используемого в модели. Такое развитие метода прогнозирования рискообразующих событий является подтверждением его объективности и реальности в отношении математического аппарата, который при этом используется.

Модель нейронной сети имеет своим результатом один из вариантов предложенных ответов: из рассматриваемых входных потенциальных событий, их совокупность в виде последовательностей (44, 46, 48, 49), (34, 36), (23), (12), параметры $(x_{44}, x_{46}, x_{48}, x_{49})$, (x_{34}, x_{36}) , (x_{23}) , (x_{12}) которых принадлежат соответствующим синапсам, трансформируется в заданном временном отрезке и приводит к реальной аварии системы в виде события Y_1 . Все остальные события, параметрически изображенные на рисунке,

не могут являться рискообразующими и не приводят к реальной аварии в системе.

Варианты событий и их формализованная интерпретация весьма индивидуальны и зависят от формирования исходной задачи, связанной с прогнозированием рискообразования. Решение задачи в этом случае сводится к индивидуальному подходу для оценки каждого состояния каждого события, которое может стать рискообразующим. Для формализованного расчета и с целью его упрощения такой подход не может быть эффективным и делает расчеты нейронных сетей весьма громоздкими и затруднительными.

Но всегда существует возможность приведения конфигурации нейронных сетей к единообразию (безусловно, в ущерб некоторой точности результата) по параметрам входных сигналов и структуре используемых активаторов. При этом неизменными останутся весовые коэффициенты для каждого из выбранных входных сигналов.

В подобных алгоритмах легче пользоваться отдельными и единичными моделями нейронов, например см. рис. 7.3 или рис. 7.7, не усложняя собственно процедуру распознавания и прогнозирования. Это означает, что мы, априори, отказываемся от идеи взаимной согласованности информации между разными событиями. Такое допущение можно избежать, если создавать иные, более сложные, виды нейронных сетей.

Еще одно замечание относительно возможностей влияния на нейронные сети прямого распространения. В пределах одного слоя нейроны обычно не связываются. Кроме того, перескок сигнала через последующий слой также запрещен, чем поддерживается последовательность активаций. Сети прямого распространения имеют не только свою архитектуру и не только запрет на передачу информации между нейронами одного слоя, но и на передачу информации от нейронов последующего слоя к нейронам предыдущего. Кроме того, архитектура нейросети прямого распространения позволяет проявлять избирательность на установление полноты или неполного пакета связей от входного сигнала к следующим активаторам. Этим самым позволительно

искусственно увеличивать или уменьшать весовую значимость отдельных входных сигналов, либо активационных сигналов от предыдущего активационного слоя к последующему.

Мы обратили внимание на математический аппарат нейронных сетей, в том числе и с перспективой в дальнейшем поиска закономерностей для событийных рисков и их прогнозирования из расчета нахождения подобных решений на уровне так называемых когнитронов — самоорганизующейся многослойной нейросети, перспективы которой очевидны для системы «человек — машина», так как они связаны с процессами инвазивизации человеческого мозга и компьютера. Но это перспектива.

Математическое содержание моделей нейронных сетей NN разработано достаточно объемно, методов их формирования, управления, обучения и пользования достаточно много и описанных в специальной литературе, и имеющихся в практическом применении в самых различных областях деятельности. В целом, такие методы имеют более прикладное значение, и их смысл ориентирован именно на специализацию рассматриваемых задач. Поэтому примеры использования нейронных сетей, применительно к моделям событийных рисков, лучше показывать на конкретных примерах, чему мы и посвятим следующую главу.

ГЛАВА 8

ПРИЛОЖЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ К УПРАВЛЕНИЮ СОБЫТИЙНЫМИ РИСКАМИ

8.1. Решение прикладных задач в области прогнозирования событийных рисков

Очертим область применения предложенных в 7-й главе механизмов к событийным рискам, то есть к предмету наших исследований. Этот предмет, как показано выше, соотносится, прежде всего, с системами временных рядов, с их логическим обоснованием на базе теории нейронных сетей. Нейронные сети нам следует применять не просто в форме распознавания отдельных образов, но в форме прогнозирования реальности тех или иных событий, которые во временном ряду имеют собственную иерархию, образность, которая, в свою очередь, зависит от исходной информации в рамках конкретного временного интервала. Исходная информация, в свою очередь, с приближением от предполагаемого к настоящему, постоянно изменяется в зависимости от внешних обстоятельств, что и порождает неопределенность конкретного события и его объективность становиться либо истиной, либо ложью на данном временном отрезке. Для следующего временного интервала событие, которое на предыдущем временном отрезке было объективно истинным и предполагаемым, может становиться ложным, в зависимости от изменения характера входной информации. При этом события, которые на предыдущем временном интервале предполагались как ложные, могут быть исключены из последующего рассмотрения потому, что предыдущая информация об их состоянии, как правило, может только добавляться к уже новой информации, не отрицая при этом предыдущего факта ложности. Логические нейронные сети, в зависимости от их

сложности, способны справляться с такой задачей посредством распознавания истинности или ложности класса образов, или, как в нашем случае, с истинностью или ложностью класса событий, которые закладываются в алгоритм в виде образов этих событий.

Исходные данные для решения задачи распознавания событий и их прогнозирования включают (табл. 8.1) существующие временные интервалы ($\Delta\tau_i$), в которых проводится анализ, каждому интервалу соответствуют начальные и промежуточные состояния входных сигналов (x_i) с соответствующей подстрочной и надстрочной аббревиатурой и с их узаконенными весовыми коэффициентами m_i . Предусматривается группа нормативных показателей системы, которые выбираются в зависимости от требуемой точности анализа (параметры b, d, h), логики принятых образов для распознавания « C_1, C_2 » и нормативных параметров собственно алгоритма работы нейрона (параметры ϵ, λ). Исходная таблица является основой для последующих расчетов по программам *SPRS* или *APRS*, а также корректировки коэффициентов по программе *ASAWC*, рассмотренных выше. При решении прикладных задач библиотека программного обеспечения может пополняться другими программами прикладного характера, в зависимости от вида поставленных заданий.

Рассмотрим задачу рискообразования при *транспортировке легковоспламеняющихся жидкостей в автоцистернах* (событие) с учетом многочисленных внешних факторов воздействия на это событие.

Условие задачи. Транспортировка бензина в зимнее время по автодорогам Украины. Тип бензовоза SF3340.4S_12. Объем перевозимого горючего 40 м³. Время в пути $t_n \div t_0 = 12$ часов. Требуется создать прогностическую модель аварийных ситуаций для данной системы.

Факторы, оказывающие влияние на процессы рискообразования на автодорогах в данном случае, сводятся к следующим ($i = 1, 1 \div 1, 7; 2, 1 \div 2, 4; 3$ из них учетными являются $i' \in i$) (табл. 8.2).

Таблица 8.1 — Схема исходной информации, формализованной под решение задач распознавания событий в типовой нейронной сети

Времен- ной ин- тервал	Порядок синапса для каждого интервала								Весовые коэффициенты синапсов			
	1($\Delta\tau_i$)		2($\Delta\tau_i$)		...		$N(\Delta\tau_i)$					
	x_1	m_{11}	x_2	m_{21}	...	...	x_N	m_{N1}	$m_{A1}^{(A)}$	$m_{A2}^{(A)}$	...	$m_{AA}^{(A)}$
(τ_i)												
$(\tau_i-\tau_{i-1})$												
...												
$(\tau_2-\tau_1)$												
$(\tau_1-\tau_0)$												
τ_0												
Нормативные показатели												
Логическое описание класса событий							Класс C_1		Класс C_2			
Число заданных образов для каждого класса							N					
Порог активации							h					
Параметр смещения линии разделения							b					
Параметр ожидаемого результата							d					
Шаг сходимости алгоритма « <i>back propagation</i> »							λ					
Заданная поисковая ошибка сети							ε					

Каждый из указанных i -факторов способен привести систему в аварийное состояние, то есть, к взрыву. Но в большей степени это относится к сочетанию двух и более факторов из числа указанных. Безусловно, номенклатура таких факторов выбирается эмпирически, исходя из опыта человека и условий поставленной задачи.

Таблица 8.2 — Систематизация факторов, влияющих на рискообразование при автотранспортировке легковоспламеняющихся жидкостей

№ п/п	Порядковый номер сигнала i	Наименование предиката	Входной сигнал, x_i
<i>1. Внутренние факторы системы</i>			
1	1.1	«соотношение внешней температуры и температуры вспышки жидкости»	x_{11}
2	1.2	«температура нагрева автоцистерны»	x_{12}
3	1.3	«степень наполнения автоцистерны»	x_{13}
4	1.4	«искрообразование в дороге»	x_{14}
5	1.5	«статическое электричество, накапливающееся в автоцистернах при раскочивании жидкости»	x_{15}
6	1.6	«вибрация, тряска в технической системе»	x_{16}
7	1.7	«неисправность автоцистерны, ее арматуры и запорного оборудования»	x_{17}
<i>2. Внешние факторы для системы</i>			
8	2.1	«состояние автомагистралей»	x_{21}
9	2.2	«внешние механические удары, деформация тела цистерны»	x_{22}
10	2.3	«факторы климатические»	x_{23}
11	2.4	«факторы внешнего воздействия»	x_{24}
<i>3. Сочетание указанных и других факторов</i>			

Краткий перечень возможных опасных свойств легковоспламеняющихся жидкостей таков. Общим свойством опасных грузов данного класса является их способность образовывать над поверхностью горючую концентрацию паров при любых температурах окружающей среды, превышающих температуру их вспышки. Пары легковоспламеняющихся жидкостей могут

быстро воспламеняются при кратковременном контакте с источником возгорания, таким как горящая спичка, электрическая искра, нагретая поверхность и т.п. Горючая концентрация паров может распространяться от места утечки на большие расстояния. Насыщенные пары легковоспламеняющихся жидкостей с повышением температуры создают в емкостях значительное давление, способное привести к разгерметизации емкости. В порожних емкостях с остатками легковоспламеняющихся жидкостей образывается взрывоопасная концентрация паров с воздухом. Горючая концентрация паров может распространяться от места утечки на большие расстояния.

Основные риски, обусловленные возникновением таких аварий, имеют место в результате произвольного воспламенения паров этой жидкости при кратковременном контакте с источником возгорания, например, искра, нагретая поверхность цистерны, от повышенного давления в цистерне, способного привести к ее разгерметизации, либо в результате самопроизвольного появления взрывоопасной концентрации паров остатков жидкости с воздухом после ее слива и др. Слив жидкости из емкости также представляет свою опасность, связанную с попаданием в струю взрывоопасных газов, концентрацией электростатических зарядов в зоне сливного рукава. Зимний период почти исключает нагрев собственно цистерны.

В данной задаче выбираем перечень возможных учетных факторов следующий: $i' = 1.3; 1.4; 1.5; 1.6; 2.1; 2.4$. Из них, чисто эмпирически, пренебрегаем учитываемыми и специфическим факторами по номерам 1.4 и 2.4, как малозначимыми. Остаток внешних учитываемых факторов ($i' = 1.3; 1.5; 1.6; 2.1$). Учетные интервалы для анализа $t_n = t_n \div \tau_1$, $\Delta\tau_1 = \tau_1 \div \tau_2$, $\Delta\tau_2 = \tau_2 \div \tau_3$, $t_0 = \tau_3 \div t_0$, где t_n — начальное время оценки или время начала движения, t_0 — конечное время свершения события, то есть время прекращения движения, и τ_i — промежуточные временные значения контроля состояния системы. Остальные параметры для создания и работы нейронной сети представлены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 — Основные параметры нейронной сети применительно к задаче транспортировки бензина

Вре- менной интер- вал	1.3		1.5		1.6		2.1		Весовые коэффициенты синапсов*			
	$x_{1,3}$	$m_{1,3}$	$x_{1,5}$	$m_{1,5}$	$x_{1,6}$	$m_{2,1}$	$x_{2,1}$	$m_{2,1}$	$m_{A1}^{(A)}$	$m_{A2}^{(A)}$	...	$m_{AA}^{(A)}$
$t_{\text{н}}$	1	0,4	1	1,25	1	0,90	0	1,45	...	...	...	...
$\Delta\tau_1$	-1	0,0	1	1,25	1	2,3	-1	0,55	...	...	...	...
$\Delta\tau_2$	0	0,0	1	1,75	1	2,50	1	0,35	...	...	...	...
$\Delta\tau_3$	0	0,0	1	1,90	1	2,50	-1	0,0	...	...	...	...
t_0	0	0,0	1	2,50	1	3,15	0	0,0	...	...	...	...
Нормативные показатели												
Логическое описание класса событий							Класс C_1 (истина)		Класс C_2 (ложь)			
Число заданных образов для каждого класса							N=5					
Порог активации							$h=4,0$					
Параметр смещения линии разделения							$b=3$					
Параметр ожидаемого результата							D=4					
Шаг сходимости алгоритма « <i>back propagation</i> »							$\lambda=0,2$					
Заданная поисковая ошибка сети							$\varepsilon=0,05$					

* — заполняются в процессе «обучения» нейронной сети.

Параметры m_k из табл. 8.1 выбираются изначально, с учетом дальнейшей их корректировки согласно механизму «*back propagation*». Нормативные показатели определяются эмпирически, с учетом логики возможных событий и пределов их появления.

К классу C_1 отнесем те состояния системы, которые на каждом временном интервале дают достижимость результата, то есть создания потенциально аварийного события, связанного со взрывом в системе в рамках существующих входных сигналов.

Классу C_2 будут принадлежать те состояния системы, которые на каждом временном интервале не будут способствовать созданию аварийного события при существующих входных сигналах. Порядок учета класса событий представлен в виде матрицы (табл. 8.4).

Таблица 8.4 — Учетные состояния событийных классов в модели простейшего нейрона

№ п/п	Класс событий		Распознавание событийных образов
	C_1 (истина)	C_1 (ложь)	
1	+1	+1	Условий для подтверждения события нет
2	+1	-1	Условия для подтверждения события есть
3	-1	+1	Условий для подтверждения события нет
4	-1	-1	Условий для подтверждения события нет

Суждение: что есть истина и что есть ложь в двуединой системе подтверждается только в одном случае: когда утверждение истины $C_1(+1)$ подчеркивается утверждением, что это не ложь $C_2(-1)$. Во всех иных вариантах матрицы (см. табл. 8.4) подтверждения истинности события не существует (либо отрицается истина и отрицается или подтверждается ложь, либо подтверждается истина и подтверждается ложь).

Возможности аварии определяются продолжительностью проезда по дороге с заданной неровностью и вибрациями в системе. То есть текущим параметром $\tau_i \div \tau_0$.

Исходные весовые коэффициенты выбираем исходя из логики их физического смысла, приведением их значения к нормированному виду отношением к максимально возможному значению. Учитывая, что входных показателей всего четыре, принимаем величину порога активации $h=4$, таким образом, что, если все показатели равны единице, это состояние события будет соответствовать нижнему пороговому уровню активации

по соответствующим синапсам. Если происходит превышение этой цифры $\sum x_i \cdot m_i > h$, значит синапс активизирован, событие имеет право на существование и переходит на следующий уровень синапсов. Возможные диапазоны исходных и последующих значений весовых коэффициентов, выбранных для решения данной задачи, представлены в табл. 8.5. В дальнейшем расчете они приведены к относительным безразмерным величинам по указанному выше правилу.

Таблица 8.5 — Приведенные значения весовых коэффициентов для входных сигналов в задаче о транспортировке бензина

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Физическая размерность $x \dots$	Относительная размерность
1	Искрообразование в системе, x_{13} , %	m_{13}	$75 \div 90$	0,4
2	Появление статического заряда, x_{13} , А/с · м	m_{15}	$0,0 \div 0,4$	1,25
3	Вибрация, тряска автомобиля, x_{16} , Гц	m_{16}	$1 \div 36$	0,9
4	Состояние автомобильных дорог, x_{21} , Δh , м	m_{21}	$0,0 \div 0,4$	1,45
5*	Температура воздуха, x_{23} , °С	...	<0	0,001

* — температура воздуха может являться одним из входных сигналов, который мы используем в наших последующих расчетах.

Таким образом, создана трехсинапсная модель нейронной сети (рис. 8.1), которая позволит получить ответ на вопрос: какие из указанных выше факторов могут оказывать решающее влияние для риска получить при езде по пересеченной местности с некачественным дорожным покрытием.

Для моделирования состояния событий на каждом уровне активации воспользуемся программой *APRS*, записанной на языке *Python*. Результаты каждого этапа активации представлены в табл. 8.6.

Таблиця 8.6 — Результати расчета трехсинапсной нейронной сети для модели автоперевозок бензина ($t_H \div t_0 = 12$ ч.)

Активация $A^{(1)}$					Активация $A^{(2)}$											
Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты				Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты						
			$m_{13}^{A^{(1)}}$	$m_{15}^{A^{(1)}}$	$m_{16}^{A^{(1)}}$	$m_{21}^{A^{(1)}}$				$m_{A_{1,2}}^{(1)}$	$m_{A_{1,2}}^{(2)}$	$m_{A_1}^{(1)}$	$m_{A_{1,2}}^{(2)}$	$m_{A_2}^{(1)}$	$m_{A_{1,2}}^{(2)}$	
t_H	+1	-1	0,4	1,25	0,9	1,45	t_H	+1	-1	0,55	0,40	1,75				
$\Delta \tau_1$	+1	-1	0,45	1,10	1,0	1,55	$\Delta \tau_1$	+1	+1	0,70	2,10	1,05				
$\Delta \tau_2$	+1	-1	0,33	1,90	0,5	1,50	$\Delta \tau_2$	+1	-1	0,75	2,10	1,55				
t_0	+1	-1	0,25	0,55	0,4	1,75	t_0	+1	-1	0,25	2,85	1,40				
$C_1\{x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_1\{0\}$							$C_1\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{x_{13}\}$									
Активация $A^{(3)}$													Суммирование R			
Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты				Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты						
			$m_{A_{1,2}}^{(2)}$	$m_{A_{1,2}}^{(3)}$	$m_{A_{1,2}}^{(2)}$	$m_{A_{1,2}}^{(3)}$				$m_{A_1}^R$	$m_{A_2}^R$					
t_H	-1	+1	0,25		2,85		t_H	+1	-1	1,20		2,45				
$\Delta \tau_1$	+1	-1	1,10		2,45		$\Delta \tau_1$	+1	-1	2,20		2,65				
$\Delta \tau_2$	+1	-1	1,55		2,25		$\Delta \tau_2$	+1	-1	2,55		1,95				
t_0	+1	-1	1,20		2,45		t_0	+1	-1	2,40		2,25				
$C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$							$C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{0\}$									

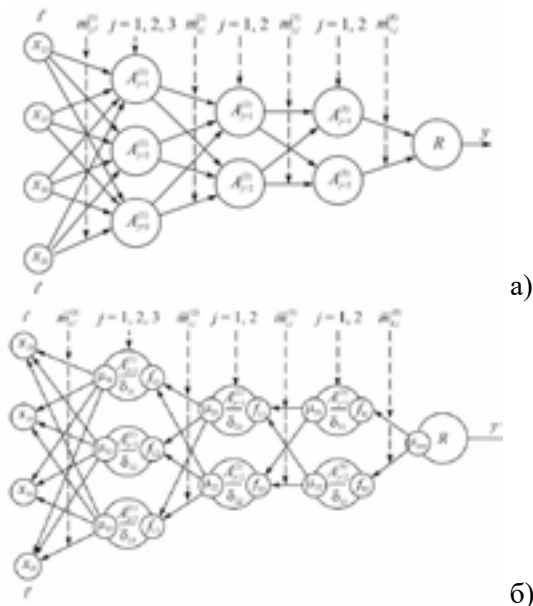


Рис. 8.1 — Трехсинапсная модель нейронной сети NN применительно к решению задач о транспортировке бензина (в параметрах см. табл. 8.1 и 8.5). Здесь: а) модель прямого действия; б) корректировка весовых коэффициентов модели согласно механизму «*back propagation*»

Как следует из результатов расчета, после первой активации в $A^{(1)}$ -синапсе нейронной сети все четыре фактора остались активированными, как реальные в период времени $\tau_n \div \tau_0$. То есть для них существуют все условия, которые способны привести к аварийной ситуации. При второй активации $A^{(2)}$ мы получили отказ в признании объективным фактор x_{13} — «степень наполнения автоцистерны», который получил утвердительную оценку класса C_2 (отрицание) в интервале времени $\tau_2 \div \tau_3$. Аналогичный результат относительно фактора x_{23} — «состояние автомагистралей», мы получили на третьем этапе активации $A^{(3)}$, когда в период времени $\tau_2 \div \tau_3$ программа отказала в объективности этому фактору. Таким образом, суммирующие сигналы, которые пришли к регистратору R , относятся к параметрам x_{15}, x_{16} , то есть, объективно в период

времени транспортировки объема бензина 40 м^3 на протяжении времени $\tau_{\text{н}} \div \tau_0 = 12$ часов в зимний период мы получим аварийную ситуацию, при которой в результате тряски по плохой дороге возрастает роль накопления статического заряда в системе, которая не может быть нейтрализована защитным оборудованием, а также реальность возгорания паров бензина максимально высока при сливе бензина в стационарные резервуары.

Корректировочные расчеты по весовым коэффициентам по программе *ASAW* позволяют уточнить результат анализа, никоим образом не влияя на образы достоверности входных сигналов (табл. 8.7).

В качестве альтернативы, уменьшив время пребывания автоцистерны в пути в три раза ($\tau_{\text{н}} \div \tau_0 = 4$ часа), при тех же остальных значениях параметров (табл. 8.8). Мы не получим аварийной ситуации, поскольку при стандартной скорости накопления статического заряда его величина не будет критической для разряда во время слива бензина через этот промежуток времени $\tau_{\text{н}} \div \tau_0 = 4$ часа.

Для получения уточненных результатов с требуемыми значениями весовых коэффициентов воспользуемся алгоритмом «*back propagation*» в программе *ASAW*. Результаты корректировки весовых коэффициентов представлены в таблице 8.9.

Расчеты показали, что из всей совокупности предполагаемых событий с входными сигналами множества $\{x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{21}\}$ реальную опасность представляет совокупность сигналов $\{x_{15}, x_{16}\}$, которые на последнем этапе суммирования дают однозначный ответ в виде непротиворечивого двумерного симплекса « $C_1; C_2$ », где $C_1 = +1$ показывает на существование сопряженной совокупности этих двух факторов, а $C_2 = -1$ показывает на отсутствие отрицания такого сочетания событий. Это есть условием подтверждения события или их совокупности (см. табл. 8.4). При этом контрольное накопление электрических зарядов осуществляется практически на всем протяжении транспортного пути в промежутке между $t_{\text{н}}$ и t_0 (см. табл. 8.6). Тем не менее, уточнение весовых коэффициентов по программе *ASAW* в пределах 180% от исходных данных показывает результат, в котором фактор x_{16} перестает играть существенную роль на последних этапах анализа.

Таблица 8.7 — Результаты коррекции весовых коэффициентов в трехсинапсной нейронной сети для модели автоперевозок бензина в зимнее время за 12 часов в пути

Корректировка коэффициентов для сумматора R					Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(3)}$						
Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты		Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты			
	C_1	C_2	$\Delta m_{A_1}^R$	$\Delta m_{A_2}^R$		C_1	C_2	$\Delta m_{A_{1,2}}^{(3)}$	$\Delta m_{A_{1,2}}^{(2)}$		
t_H	+1	-1	-0,20	+1,77	t_H	-1	+1	-1,05	+2,22		
$\Delta \tau_1$	+1	-1	-0,55	-1,61	$\Delta \tau_1$	-1	+1	-0,24	+0,25		
$\Delta \tau_2$	+1	-1	+0,15	+0,23	$\Delta \tau_2$	-1	-1	-0,29	-1,05		
t_0	+1	-1	-1,35	+1,55	t_0	+1	-1	-0,35	-0,55		
Результат встречного расчета $C_1\{0\}; C_2\{x_{15}, x_{16}\}$					Результат встречного расчета $C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$						
Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(2)}$					Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(1)}$						
Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты		Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты			
	C_1	C_2	$\Delta m_{A_{1,2}}^{(1)}$	$\Delta m_{A_{1,2}}^{(2)}$		C_1	C_2	$\Delta m_{A_{14}}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{A_{16}}^{A^{(1)}}$		
t_H	-1	+1	-0,75	+0,12	-0,65	t_H	-1	+0,25	-0,05	+0,15	-0,06
$\Delta \tau_1$	+1	-1	-0,21	+0,21	-0,7	$\Delta \tau_1$	+1	-0,33	+0,12	-0,19	-0,12
$\Delta \tau_2$	+1	+1	-0,53	-1,32	-0,04	$\Delta \tau_2$	+1	+0,93	-0,29	-0,31	+0,11
t_0	+1	-1	+1,31	-0,55	-0,27	t_0	+1	-0,09	+0,45	-0,46	-0,25
Результат встречного расчета $C_1\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{x_{13}\}$					Результат встречного расчета $C_1\{x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{0\}$						

Таблиця 8.8 — Результати расчета трехинерционной нейронной сети для модели автоперевозок бензина при $\tau_H \div \tau_0 = 4$ часа

Активация $A^{(1)}$					Активация $A^{(2)}$						
Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты		Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты			
			$m_{14}^{A^{(1)}}$	$m_{15}^{A^{(1)}}$				$m_{16}^{A^{(1)}}$	$m_{A_{1,2}}^{A^{(1)}}$	$m_{A_1}^{A^{(1)}}$	$m_{A_2}^{A^{(1)}}$
t_H	+1	-1	0,4	1,25	0,9	1,45	+1	-1	0,25	0,55	0,4
$\Delta\tau_1$	+1	-1	0,45	1,10	1,0	1,55	+1	+1	0,30	2,25	1,10
$\Delta\tau_2$	-1	-1	0,33	1,90	0,5	1,50	+1	-1	0,80	2,00	1,65
t_0	+1	-1	0,25	0,55	0,4	1,75	+1	-1	0,55	2,45	1,15
$C_1\{x_{14}, x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$					$C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{13}\}$						
Активация $A^{(3)}$										Суммирование R	
Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты		Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты			
			$m_{A_{1,2}}^{A^{(2)}}$	$m_{A_1}^{A^{(2)}}$				$m_{A_2}^{A^{(2)}}$	$m_{A_1}^{R_{A_1^{(3)}}}$	$m_{A_2}^{R_{A_2^{(3)}}}$	
t_H	-1	+1	2,45	1,15	t_H	-1	-1	1,20	2,45		
$\Delta\tau_1$	+1	-1	3,05	2,15	$\Delta\tau_1$	+1	-1	2,30	1,65		
$\Delta\tau_2$	+1	-1	1,25	1,80	$\Delta\tau_2$	+1	-1	1,55	1,55		
t_0	+1	-1	1,20	2,45	t_0	+1	-1	1,35	2,15		
$C_1\{x_{15}\}; C_2\{x_{16}\}$					$C_1\{0\}; C_2\{x_{15}\}$						

Таблица 8.9 — Результаты коррекции весовых коэффициентов в трехсинапсной нейронной сети для модели автоперевозок бензина за 4 часа

Корректировка коэффициентов для сумматора R					Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(3)}$				
Класс событий		Весовые коэффициенты			Класс событий		Весовые коэффициенты		
Δt	C_1	C_2	$\Delta m_{A_1^{(3)}}^R$	$\Delta m_{A_2^{(3)}}^R$	Δt	C_1	C_2	$\Delta m_{A_{1,2}^{(3)}}^{A_1^{(2)}}$	$\Delta m_{A_{1,2}^{(3)}}^{A_2^{(2)}}$
t_H	+1	-1	-1,20	+1,53	t_H	-1	+1	+0,95	+1,12
$\Delta \tau_1$	+1	-1	+0,35	-1,11	$\Delta \tau_1$	-1	+1	-0,54	-0,05
$\Delta \tau_2$	-1	-1	+0,35	-0,33	$\Delta \tau_2$	-1	-1	+1,20	+0,05
t_0	+1	-1	-2,05	-1,35	t_0	+1	-1	1,05	-0,45
Результат встречного расчета $C_1\{x_{15}\}; C_2\{x_{16}\}$					Результат встречного расчета $C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$				
Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(2)}$					Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(1)}$				
Класс событий		Весовые коэффициенты			Класс событий		Весовые коэффициенты		
Δt	C_1	C_2	$\Delta m_{A_{1,2}^{(2)}}^{A_1^{(1)}}$	$\Delta m_{A_{1,2}^{(2)}}^{A_2^{(1)}}$	Δt	C_1	C_2	$\Delta m_{A_{14}^{(1)}}^{A_{15}^{(1)}}$	$\Delta m_{A_{16}^{(1)}}^{A_{21}^{(1)}}$
t_H	-1	+1	+0,35	+0,60	t_H	+1	-1	-0,05	+0,09
$\Delta \tau_1$	+1	-1	-0,11	-0,21	$\Delta \tau_1$	+1	-1	-0,03	+0,11
$\Delta \tau_2$	+1	+1	+0,33	-0,85	$\Delta \tau_2$	+1	-1	+0,05	-0,09
t_0	+1	-1	-0,11	-1,15	t_0	+1	-1	-0,03	+0,15
Результат встречного расчета $C_1\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{x_{13}\}$					Результат встречного расчета $C_1\{x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{0\}$				

Таким образом, нейронная сеть выдает нам уточненный результат решения искомой задачи в виде следующего рассуждения:

– при транспортировке бензина в автоцистерне типа SF3340.4S_12 с объемом перевозимого горючего 40 м^3 по автодороге с неровным покрытием в зимнее время в течение 4 часов реальной является опасность возникновения аварийного события, связанного исключительно с накоплением статического электричества из-за раскачивания жидкости и взрывом, вне зависимости от других исходных данных. Возможна аварийная ситуация в период времени t_0 — начало слива бензина.

Интересный результат дает расчет возможностей для проявления аварийной ситуации при транспортировке бензина в зависимости от продолжительности поездки с полной емкостью. Выполнены расчеты для параметра $(t_H - t_0)$ соответственно 2 часа, 3 часа, 4 часа, 5 часов, 5,5 часов, 6 часов, 9 часов, 12 часов.

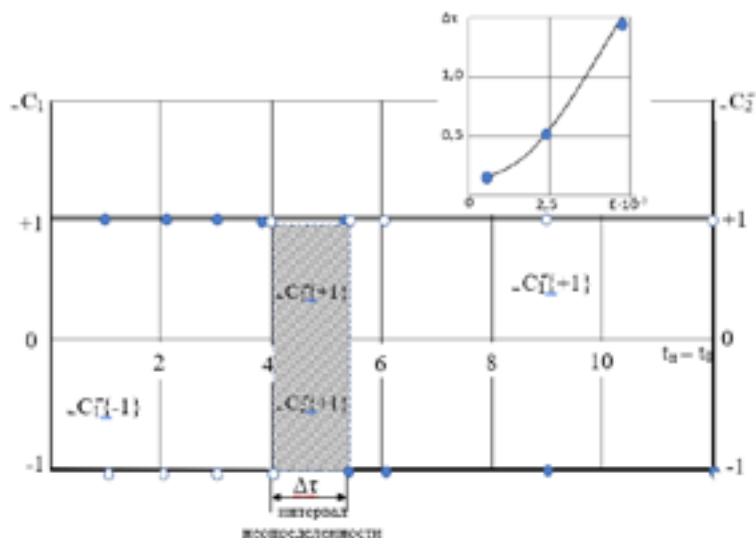


Рис. 8.2 — Взаимосвязь появления событийного риска с возможными временными интервалами движения автотранспортного средства, в том числе, в зависимости от требуемой точности результата (а)

Полная временная зависимость системы в этом случае представлена на рис. 8.2. Это сопряженные графики зависимостей образа « C_1 » и образа « C_2 » соответственно, от интервала времени нахождения транспорта в пути при заданных внешних условиях. Обращает внимание интервал нахождения в пути $4,0 \leq \Delta t \leq 5,5$ часов, для которого принятый алгоритм нейронной сети не может достоверно определить достоверно аварийную ситуацию, связанную с накоплением статического электричества в системе. Здесь следующий вариант образов « C_1 » (+1) и образов « C_2 » (+1) таков, что согласно таблице 8.4 дает результат *«условий для подтверждения события нет»*. Этот интервал может считаться «интервалом неопределенности», появление которого зависит от исходных нормативных параметров, которые закладываются в алгоритм расчета. Его минимизация может быть достигнута только подбором таких параметров, как порог активации (в данном случае $h=4,0$) в сопоставлении с системой входных сигналов x_i и заданная поисковая ошибка (в данном случае $\varepsilon=0,05$) в диапазоне $0,01 \div 0,05$.

В рассматриваемом примере размер этой неопределенности зависит от задания поисковой ошибки в нейронной сети в масштабе $\varepsilon=0,05$. Несложные расчеты (рис. 8.2, а) показывают, что при более жестких условиях для допустимой поисковой ошибки время неопределенности Δt снижается практически до нуля. Следует отметить, что при других внешних условиях задачи такие параметры могут иметь иные значения.

Возникает вопрос: почему такие аварии, чаще всего, не происходят в реальных условиях? Ответ очень простой. Потому что, как потенциальный, риск, связанный с накоплением статического электричества в системах транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей, известен давно. И давно известны способы его предупреждения, которые активно применяются на практике. Некоторые из них такие:

- защитное заземление автоцистерн и емкостей для хранения бензина и непрерывность электрической цепи из всех электропроводных элементов автоперевозчика во время перевозки и слива жидкости;

- применение присадок для повышения проводимости нефтепродуктов при их наливке, сливе и транспортировке;
- нейтрализация зарядов статического электричества в трубопроводах с помощью электродов;
- применение инертных газов, препятствующих накоплению паров легковоспламеняющейся жидкости;
- предупредительные защитные мероприятия при сливе бензина в эксплуатационные емкости, и др.

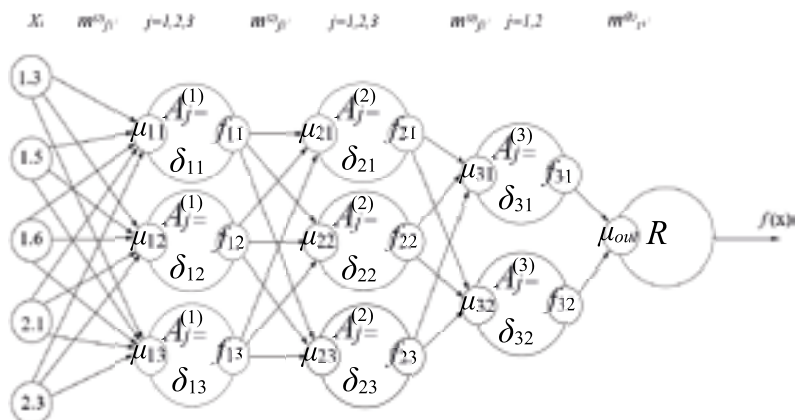


Рис. 8.3 — Модель трехсинапсной нейронной сети для системы автомобильных перевозок легковоспламеняющихся жидкостей в летнее время

Существование таких внешних условий в виде дополнительных входных сигналов (параметр x_{24}) может быть предусмотрено моделью. При этом усложняется ее расчет, но повышается точность прогноза.

Предложенная модель описывает нестандартные условия для появления такой опасности в момент времени t_0 , но в зависимости от внешних параметров, в том числе, и от некоторых сочетаний из указанных выше. Если хотя бы один из перечисленных входных параметров появляется при эксплуатации системы, то в момент времени t_0 это приводит к аварии. Кроме того, модель показы-

вает временные ограничения для такой системы: чем больше время в пути, чем значительнее процесс накопления зарядов, тем большую опасность представляет система (см. рис. 8.2). Модель описывает события в момент времени, предшествующий возникновению аварийной ситуации. Роль эксплуатации состоит в предварительной фиксации опасных входных сигналов в период времени, предшествующий времени t_0 , тем самым предупреждая возможности для появления аварии. В пределе, это тот бесконечно малый отрезок времени $\delta t \in t_n - t_0$, о котором говорилось в разделе 3 данной монографии. В этом, собственно, состоит механизм прогнозирования и предупреждения рискообразующих событий, в данном случае — аварий.

Аналогичным образом можно проследить степень влияния погодных условий на критическое накопление статического электричества в системе. Изменим условия задачи следующим образом (табл. 8.10). Модель нейронной сети по-прежнему остается трехсинапсной с измененным числом активаторов (рис. 8.3).

Таблица 8.10 — Приведенные значения весовых коэффициентов для входных сигналов в задаче о транспортировке бензина в летнее время

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Физическая размерность $x_{...}$	Относительная размерность
1	Искрообразование в системе, x_{13} , %	m_{13}	$75 \div 90$	0,4
2	Появление статического заряда, x_{15} , А/с · м	m_{15}	$0,0 \div 0,4$	1,25
3	Вибрация, тряска автомобиля, x_{16} , Гц	m_{16}	$1 \div 36$	0,9
4	Состояние автомобильных дорог, x_{21} , Δh , м	m_{21}	$0,0 \div 0,4$	1,45
5	Температура воздуха, x_{23} , °С	m_{23}	$(+10) \div (+35)$	1,65

Повторим расчет по указанному выше алгоритму для новых исходных данных по программам *APRS* и *ASAW* для поиска событийных рисков в системе и уточнения весовых коэффициентов в принятой системе входных сигналов (табл. 8.11).

С повышением температуры воздуха возрастает роль искрообразования и накопления статических зарядов в системе. Примечательно, что расчет и в этом случае показал в качестве рискообразующего фактора появление статических зарядов, роль которого существенно возрастает при повышении температуры воздуха и электризации поверхности цистерны для перевозки бензина. Дополнительным фактором стала возможность искрообразования в системе.

Результаты корректировки весовых коэффициентов с целью уточнения влияния входных сигналов показывают существенно иную картину появления рисков (табл. 8.12). Уточненные весовые коэффициенты подтверждают правильность решения: разбег данных по бинарному отображению образов « C_1 ; C_2 » практически во всех случаях не превышает единицы в относительном масштабе.

Представляет интерес температурная зависимость, как проявление образов появления аварийных событий в особенности в рамках временных интервалов перевозок легковоспламеняющихся жидкостей (рис. 8.4). Чем больше температура окружающего воздуха и чем более продолжительной является перевозка, тем значительнее влияние как накопления статических зарядов в системе, так и искрообразование в ней на появление аварийных событий в системе. Очевидна сходимость этих зависимостей. Она такова, что уже при температуре воздуха примерно 310K и при продолжительности транспортировки выше 13,5 часов значимость параметров x_{13} и x_{15} , как рискообразующих для такой системы, почти одинакова, и они являются наиболее актуальными при таких условиях перевозки легковоспламеняющихся жидкостей.

Таблица 8.11 — Результаты расчета трехиниальной нейронной сети для модели автоперевозок бензина ($\tau_{\text{н}} \div \tau_0 = 12$ ч. в летний период времени)

Активация $A^{(1)}$						Активация $A^{(3)}$							
Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты					Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты		
			$m_{13}^{A^{(1)}}$	$m_{15}^{A^{(1)}}$	$m_{16}^{A^{(1)}}$	$m_{21}^{A^{(1)}}$	$m_{23}^{A^{(1)}}$				$m_{13}^{A^{(3)}}$	$m_{16}^{A^{(3)}}$	$m_{23}^{A^{(3)}}$
$t_{\text{н}}$	+1	-1	0,4	1,25	0,9	1,45	1,65	$t_{\text{н}}$	+1	+1	0,50	1,30	1,50
$\Delta\tau_1$	+1	-1	0,10	1,30	0,95	0,55	1,33	$\Delta\tau_1$	-1	-1	0,65	1,25	1,10
$\Delta\tau_2$	+1	-1	0,20	1,05	1,15	0,20	1,25	$\Delta\tau_2$	+1	+1	0,90	0,55	1,40
t_0	+1	-1	0,05	0,90	1,20	0,05	1,10	t_0	+1	+1	0,80	0,30	1,55
$C_1\{x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{23}\}; C_2\{0\}$						$C_1\{x_{13}, x_{15}, x_{23}\}; C_2\{0\}$							
Активация $A^{(2)}$						Суммирование R							
Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты					Δt	C_1	C_2	Весовые коэффициенты		
			$m_{13}^{A^{(2)}}$	$m_{15}^{A^{(2)}}$	$m_{16}^{A^{(2)}}$	$m_{21}^{A^{(2)}}$	$m_{23}^{A^{(2)}}$				$m_{A_1}^R$	$m_{A_2}^R$	
$t_{\text{н}}$	-1	+1	0,05	0,90	1,20	0,05	1,10	$t_{\text{н}}$	+1	-1	1,75	0,90	
$\Delta\tau_1$	-1	-1	0,35	0,95	1,25	0,70	1,10	$\Delta\tau_1$	-1	-1	2,20	1,30	
$\Delta\tau_2$	+1	-1	0,45	1,00	1,55	0,85	1,45	$\Delta\tau_2$	+1	-1	2,75	1,65	
t_0	+1	-1	0,50	1,10	1,30	1,20	1,50	t_0	+1	-1	3,15	2,20	
$C_1\{x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{23}\}; C_2\{x_{16}, x_{21}\}$						$C_1\{x_{13}, x_{15}, x_{23}\}; C_2\{0\}$							

Таблица 8.12 — Результаты коррекции весовых коэффициентов в трехсинапсной нейронной сети для модели автоперевозок бензина в летнее время за 12 часов

Корректировка коэффициентов для сумматора R							
Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты				
	C_1	C_2	$\Delta m_{A_1^{(3)}}^R$	$\Delta m_{A_2^{(3)}}^R$			
$t_{\text{н}}$	+1	-1	-0,15	+0,19			
$\Delta \tau_1$	+1	-1	+0,23	+0,31			
$\Delta \tau_2$	+1	-1	+0,51	+0.59			
t_0	+1	-1	-0,10	-0,22			
Результат встречного расчета $C_1\{0\}; C_2\{x_{13}, x_{16}, x_{23}\}$							
Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(3)}$							
Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты				
	C_1	C_2	$\Delta m_{13}^{A^{(3)}}$	$\Delta m_{16}^{A^{(3)}}$	$\Delta m_{23}^{A^{(3)}}$		
$t_{\text{н}}$	+1	-1	+0,41	+0,11	+0,07		
$\Delta \tau_1$	+1	-1	-0,09	-0,11	+0,23		
$\Delta \tau_2$	+1	-1	+0,12	+0.19	-0,11		
t_0	+1	-1	-0,06	+0,05	-0,06		
Результат встречного расчета $C_1\{x_{13}, x_{16}, x_{23}\}; C_2\{0\}$							
Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(2)}$							
Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты				
	C_1	C_2	$\Delta m_{13}^{A^{(2)}}$	$\Delta m_{15}^{A^{(2)}}$	$\Delta m_{16}^{A^{(2)}}$	$\Delta m_{21}^{A^{(2)}}$	$\Delta m_{23}^{A^{(2)}}$
$t_{\text{н}}$	+1	-1	-0,12	-0,09	-0,15	+0,31	-0,09
$\Delta \tau_1$	+1	+1	-0,03	+0,01	-0,09	-0,24	-0,27
$\Delta \tau_2$	+1	-1	-0,07	-0,19	+0,21	-0,16	-0,04
t_0	+1	-1	+0,23	-0,05	-0,03	-0,13	+0,32
Результат встречного расчета $C_1\{x_{13}, x_{16}, x_{23}\}; C_2\{x_{15}, x_{21}\}$							

Корректировка коэффициентов для синапса $A^{(1)}$							
Δt	Класс событий		Весовые коэффициенты				
	C_1	C_2	$\Delta m_{13}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{15}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{16}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{21}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{23}^{A^{(1)}}$
t_H	+1	-1	+0,17	+0,62	-0,14	-0,29	-0,77
$\Delta \tau_1$	+1	-1	-0,05	-0,19	+0,19	+0,02	+0,21
$\Delta \tau_2$	+1	-1	+0,21	-0,21	+0,21	+0,01	+0,34
t_0	+1	-1	-0,09	-0,17	-0,33	+0,05	-0,07
Результат встречного расчета $C_1\{x_{13}, x_{16}, x_{16}, x_{21}, x_{23}\}; C_2\{0\}$							

Таким образом, нейронная сеть выдает нам уточненный результат решения измененной задачи в виде следующего рассуждения:

– при транспортировке бензина в автоцистерне типа SF3340.4S_12 с объемом перевозимого горючего 40 м³ по автодороге с неровным покрытием в летнее время в течение 12 часов реальной является опасность возникновения аварийного события, связанного с накоплением статического электричества из-за раскачивания жидкости, с последующим взрывом, а также искрообразованием, в особенности при высоких температурах воздуха (более 300 градусов Кельвина) и при длительных перевозках (более 12,5 часов). Возможна аварийная ситуация в период времени t_0 — начало слива бензина.

При этом для перевозок продолжительностью более 12,5 часов и температурах воздуха более 310К при таких условиях риск от искрообразования превышает риск от накопления статических зарядов в системе.

Такие данные можно принимать как нормативные для избежания появления нежелательных рисков, связанных, например, с автоперевозками бензина. Аналогичные зависимости можно получить расчетным путем для других способов доставки бензина, для других типов автоцистерн и в целом для иных условий доставки легковоспламеняющихся грузов.

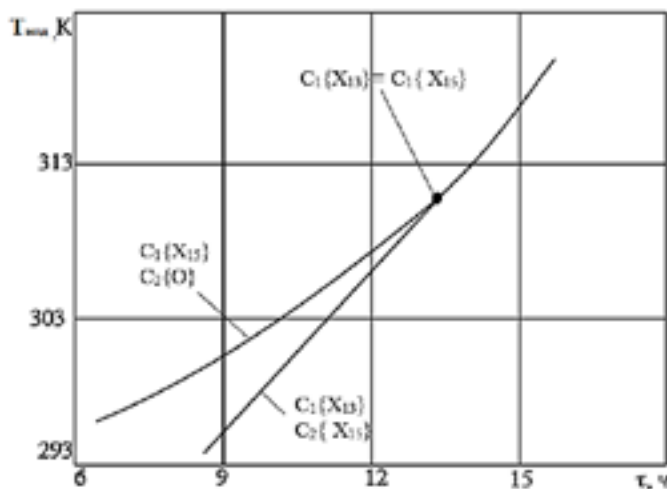


Рис. 8.4 — Временная зависимость фактов наличия событийных рисков от температурных условий окружающего воздуха при автотранспортировке легковоспламеняющейся жидкости в летний период

8.2. Алгоритмизация задач в области прогнозирования событийных рисков

Применение предложенного механизма расчета потенциальных рисков при помощи нейронных сетей в практических целях станет затруднительным, хотя бы из-за его сложности и объемности. На практике потребуется упрощенный вариант расчета, даже при помощи компьютерной техники. Следует понимать, что любое упрощение процедуры выбора сценариев развития событий или образов таких событий влечет за собой снижение точности расчета и собственно конечного результата. Мы предлагаем один из возможных вариантов решения проблемы, опять-таки, с применением механизма нейронных сетей.

Это упрощенная система анализа, обоснованная на унифицированных входных и выходных сигналах, приближенная

к системе булевой алгебры. Применение условия «правильно — неправильно», «да — нет», «1;0» является весьма доходчивым в практическом смысле и достаточно изучено и формализовано в этом разделе математики. Поэтому ее применение в системе распознавания образов при помощи нейронных сетей значительно упрощает собственно процедуру распознавания, позволяет использовать для этого самые простые нейроны.

Распознавание образов по принципу «правильно — неправильно» дает нам возможность временного ухода от нагрузки весовых коэффициентов для исходных входных сигналов путем выявления результата в виде двумерного симплекса « C_1, C_2 » то есть результат в виде «правильно — неправильно», «опасно — безопасно» и т.д. Если результат относится к образу класса событий или явлений типа « C_1 — опасно», значит такой сигнал проходит для дальнейшего анализа в следующем синапсе. В противном случае, если показан результат, относящийся к образу класса событий или явлений типа « C_2 — безопасно», такой результат выносится за рамки анализа и в дальнейшем не принимает в нем участие, как не рискообразующий. Весовые коэффициенты при этом учитываются на этапе последующем за разделением двумерного симплекса в программном обеспечении (например, программа *SPRS*). Такой подход позволяет осуществлять обратную корректировку весовых коэффициентов по программе *ASAWC* с целью уточнения конечного результата. Как показывает практика таких расчетов, приведение входных сигналов к алгебраическому единообразию позволяет унифицировать систему расчета, но при этом теряется точность данных. Тем не менее, упрощение системы расчета может себя оправдать, если пользоваться ею с прикладными целями в практических системах. Существуют и другие возможности для упрощения практических расчетов, которые если и снижают точность расчетных данных, то только потому, что их результаты выигрывают в оперативности, что немаловажно для прогнозирования таких показателей, как аварийный риск. Например, число входных сигналов предпочтительно показывать от двух до трех.

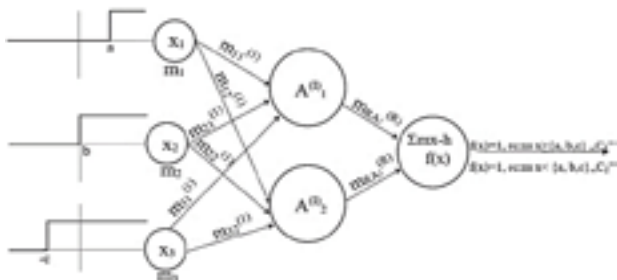


Рис. 8.5 — Модель простейшего нейрона, позволяющая решать задачи о рисках, связанные с неправильными действиями

Тогда схема простейшего нейрона будет иметь вид (рис. 8.5). Входные сигналы должны быть подобраны таким образом, чтобы они отвечали требованиям двоичной логики. Сигнал должен быть типа «да — нет». Например, «давление в системе должно быть не меньше или меньше критического p_0 ». Тогда параметр $p_i \in P$ превращается в двоичный сигнал следующим образом

$$x = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i \geq p_0 \in P \\ 0, & \text{если } p_i < p_0 \in P \end{cases} \quad (8.1)$$

Тогда и активированные сигналы смогут иметь бинарное отображение. Таким образом, по крайней мере, на этом этапе, мы можем уйти от весовых коэффициентов, приравняв их к единице. Этим показывается равнозначность событий по весу и значимости, когда роль играет только факт наличия или отсутствия этого события.

Подобный нейрон может быть имплементирован в общую нейронную сеть для решения совокупной задачи определения рисков, связанных с решением основной задачи. Причем, в такой сети могут находиться и нейроны общего вида с установленными весовыми коэффициентами, и нейроны с единичными коэффициентами, если они не пересекаются в общей системе решения.

Если принимать правила показанного выше алгоритма формирования нейронных сетей, то такие события легко описываются простейшим нейроном, в котором два-три входных сигнала обеспечивают выбор одного активатора и выходной функции типа

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{для класса образов } C_1 \\ 0 & \text{для класса образов } C_2 \end{cases} \quad (8.2)$$

Рассчитаем такую схему для задачи о транспортировке автомобильным транспортом легковоспламеняющихся жидкостей. Здесь у нас четыре входных сигнала, описанных в таблице 8.2. Выберем их рациональные сочетания исходя из логики возможных аварий на этом виде транспорта (табл. 8.13) для последующего заполнения исходных данных для расчета персептрона по программе *SPRS*.

Корректировка весовых коэффициентов (табл. 8.14) осуществлена согласно программе *ASAW* в два этапа: суммирование и активация входных сигналов.

Очевидно, что события, входные сигналы которых обозначены, как $\{x_{13}, x_{15}, x_{21}\}$, в совокупности не дают однозначного ответа на вопрос о реальности рискованных событий, связанных со степенью наполнения автоцистерн, накоплением статического электричества при раскачивании жидкости и состояния автомагистралей. В данном случае двумерный симплекс « C_1, C_2 » на этапе суммирования сигналов выглядит противоречиво: $C_1=+1$ показывает на существование сопряженной совокупности этих трех факторов, а образ $C_2=+1$ показывает на отрицание такого сочетания.

В тот же момент совокупность входных сигналов $\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}$ на последнем этапе суммирования дает однозначный ответ в виде двумерного непротиворечивого симплекса, состоящего из образа $C_1=+1$, что означает присутствие образа совокупного существования двух сигналов из трех $\{x_{15}, x_{16}\}$, и образа $C_2=+1$, то есть отсутствие отрицания такого сочетания событий. Это условие подтверждения события или совокупности (см. табл. 8.4). Корректировка весовых коэффициентов дает нам и уточнение результата. Встречный расчет по программе *APRS* показывает объективный риск, связанный не с двумя входными сигналами $\{x_{15}, x_{16}\}$, как это показывал первичный расчет по этой же программе, а выделяют как наиболее существенный — один сигнал, а именно $\{x_{15}\}$, то есть «накопление статического электричества в автоцистерне» при ее раскачивании во время любого движения и независимо от состояния автомагистрали.

Таблиця 8.13 — Результаты расчета односинапсной нейронной сети для модели автоперевозок бензина ($t_n - t_0 = 12$ ч.)

Входные сигналы $\{x_{13}, x_{15}, x_{21}\}$						Входные сигналы $\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}$					
Активация $A^{(1)}$						Активация $A^{(1)}$					
Δt	C_1	C_2	x_{13}	x_{15}	x_{21}	Δt	C_1	C_2	$x_{15}(m_{15}^{A1})$	$x_{16}(m_{16}^{A1})$	$x_{21}(m_{21}^{A1})$
t_H	-1	+1	1	1	1	t_H	+1	-1	1 (1,25)	1 (0,90)	1 (1,45)
$\Delta\tau_1$	-1	+1	0	1	1	$\Delta\tau_1$	-1	-1	1 (1,75)	1 (2,15)	1 (3,10)
$\Delta\tau_2$	-1	-1	0	1	0	$\Delta\tau_2$	-1	+1	0 (-)	1 (2,10)	1 (3,05)
t_0	-1	-1	0	1	0	t_0	+1	+1	1 (4,05)	1 (3,40)	0 (-)
$C_1\{x_{13}, x_{21}\}; C_2\{x_{15}\}$						$C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$					
Суммирование R						Суммирование R					
Δt	C_1	C_2	x_{13}	x_{15}	x_{21}	Δt	C_1	C_2	$x_{15}(m_{15}^R)$	$x_{16}(m_{16}^R)$	$x_{21}(m_{21}^R)$
t_H	-1	+1	0	1	0	t_H	+1	-1	1 (1,50)	1 (1,10)	1 (0,85)
$\Delta\tau_1$	-1	+1	0	1	0	$\Delta\tau_1$	+1	-1	1 (1,25)	1 (3,90)	1 (0,35)
$\Delta\tau_2$	+1	+1	0	0	0	$\Delta\tau_2$	+1	-1	1 (2,80)	1 (3,55)	0 (-)
t_0	+1	+1	0	0	0	t_0	+1	-1	1 (3,35)	1 (3,60)	0 (-)
$C_1\{0\}; C_2\{x_{13}, x_{21}\}$						$C_1\{x_{15}\}; C_2\{x_{16}\}$					

Таблица 8.14 — Результаты коррекции весовых коэффициентов в односинапсной $A^{(1)}$ нейронной сети для модели автоперевозок бензина по входным сигналам $\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}$

Корректировка коэффициентов для сумматора R					Корректировка коэффициентов для синапса A ⁽¹⁾								
Δt	C_1	C_2	$\Delta m_{RA_1}^R$	$\Delta m_{RA_2}^R$	Δt	C_1	C_2	$\Delta m_{11}^{(1)}$	$\Delta m_{21}^{(1)}$	$\Delta m_{31}^{(1)}$	$\Delta m_{12}^{(1)}$	$\Delta m_{22}^{(1)}$	$\Delta m_{32}^{(1)}$
t_H	+1	+1	3,40	2,15	t_H	+1	-1	0,40	0,85	0,45	1,90	0,75	1,10
$\Delta \tau_1$	+1	-1	2,35	2,90	$\Delta \tau_1$	-1	-1	0,10	0,60	0,70	1,75	0,90	1,35
$\Delta \tau_2$	+1	-1	2,10	2,45	$\Delta \tau_2$	-1	+1	0,25	0,55	0,80	2,55	1,00	0,70
t_0	+1	-1	1,95	2,20	t_0	+1	-1	0,80	0,35	1,25	3,20	1,15	0,30
Результат встречного рас-чета по программе APRS $C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{0\}$					Результат встречного расчета по программе APRS $C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$								

Причем контрольное накопление электрических зарядов начинается уже во второй половине транспортного пути при времени в промежутке между $\Delta\tau_2$ и t_0 (см. табл. 8.13 и 8.14).

Таким образом, нейронная сеть выдает нам уточненный результат решения искомой задачи в виде следующего рассуждения:

– при транспортировке бензина в автоцистерне типа SF3340.4S_12 с объемом перевозимого горючего 40 м³ по автодороге с любым покрытием в течение 12 часов реальной является опасность возникновения аварийного события, связанного с накоплением статического электричества и взрывом, в том числе, во время перекачки жидкости.

Данный результат уточняет решение предыдущее в той его части, которое касается покрытия автодорожного полотна. Показано, что в конечном результате аварийное событие в данных условиях может возникать при перевозке бензина по любым автодорогам.

В перспективе можно предположить, что упрощенная система нейронного анализа потенциальных рисков может претендовать на ранг основной, которая позволит в практической работе заменить классическую схему расчета, безусловно, с некоторой потерей объективности результата.

8.3. Рекуррентные нейронные сети с обратными связями применительно к моделям событийных рисков

Мы рассматривали нейросети с однонаправленными потоками сигналов: от входных к результирующему, когда каждый нейрон сети выполняет свою задачу единожды. При этом каждый нейрон безитерационно выполнял функцию последовательной передачи информации. Однако, можно представить себе иные сети, например, в которых нейроны могут конфликтовать за информацию (вариант, сеть Кохонена — нейронная сеть, выходные сигналы которой обрабатываются по правилу: наибольший сигнал превращается в единичный, остальные обращаются в ноль), или такие, что могут

итерировать многократно транзитируемую информацию о состоянии системы, использовать эффекты возврата выходного сигнала в сеть входного паттерна, в частности, ради того, чтобы исправить допущенные ошибки, и т.д. В данном исследовании нас могут заинтересовать подобные нейронные сети с обратными положительными и отрицательными связями, когда транзитное выходное возбуждение возвращается назад ко входному паттерну и нейрон вновь повторяет свою функцию (рис. 8.6). Обратные связи, в полном соответствии с теорией управления, могут становиться неустойчивыми, если они положительные, либо стремиться привести систему к стабильности, если они отрицательные. Проявляемая в нейронных сетях неустойчивость, как правило, связана с программируемой сменой состояний нейронов, таких, чтобы не возникало стационарных состояний. Такие сети относятся к классу нейродинамических, они весьма условны и требуют более тщательного подбора информации о паттерне и дополнительную информацию о соседних нейронных слоях. К ним относятся модели нейронной сети Хопфилда, представляющие собой полносвязную динамическую нейронную сеть с симметричной матрицей связей [1, 2, 3, 4]. Для нас сети с обратными связями важны тем, что в них может присутствовать временная составляющая. Обратные связи позволяют передавать информацию на протяжении нескольких шагов (циклов) от одного нейрона к другому. Этим самым в модель вводится возможность запоминания предыдущего состояния нейрона, как временной составляющей.



Рис. 8.6 — Упрощенная модель нейронных сетей с обратными связями (прототип рекуррентной сети *RNN*)

В момент времени t_1 она соизмерима только с одной итерацией, а в следующий момент времени $t_2 = t_1 + \Delta t$ j -й нейрон может изменить состояние своего возбуждения в зависимости от порогового уровня h его входных сигналов, таким образом, чтобы соблюдался индивидуальный порог возбуждения этого j -го нейрона по i -му входному сигналу, то есть

$$\begin{cases} x_i(t + \Delta t) = -1, & \text{если } h_j(t) < T_i \\ x_i(t + \Delta t) = +1, & \text{если } h_j(t) > T_i \\ x_i(t + \Delta t) = x_i(t), & \text{если } h_j(t) = T_i \end{cases} \quad (8.3)$$

Здесь T_i — полный интервал времени работы нейрона по i -му входу в системе обратной связи; h_j — пороговый уровень входных сигналов определяется, как $h_j = \sum_{i \neq j} (m_{ij} \cdot x_i)$. В данном случае величина h_j является зависимой.

Такие сети носят название рекуррентных RNN , то есть доступных к вычислению.

В общем случае форма сохраненного контента в любом RNN на каждом последующем ($n = 1, 1, N$) синапсном слое $h(n) = \sum_{i=1}^{n-1} [m_{Ni}, h_{i-1}]$. Здесь $h_0 = [0, 0, 0, \dots, 0_N]^T$ — условное начальное значение показателя обратной связи в модели; $R_i = m_{Ni} \cdot h_i$ — представляет обобщенный выход в модели RNN . Именно благодаря такой рекурсии нейрон способен сохранять информацию о предыдущих состояниях события. В основе работы любой сети лежит построение модели зависимостей текущего состояния x_i^k для k -го события от предыдущих состояний $x_{i-1}^k \dots$. Если вероятность i -го состояния для рассматриваемого k -го события записать как $P(x_i^k | x_{i-1}, x_{i-2}, \dots)$, то прогнозируемое значение состояния для рассматриваемого события $\tilde{x}_i$ RNN должна выбирать с максимальной вероятностью требуемого состояния $\max(x_i^k | x_{i-1}, x_{i-2}, \dots) \rightarrow \tilde{x}_i$. Оно будет зависеть от всех предыдущих состояний $(x_{i-1}^k, x_{i-2}^k, \dots)$ которыми оперирует данная сеть. В общем виде математически RNN обслуживается по принципу

$$P(x_i^k, x_{i-1}^k, x_{i-2}^k, \dots) = P(x_0^k) \cdot \prod_{i=1}^n (x_i^k | x_{i-1}^k),$$

а именно, нейронная сеть RNN на основании предыдущей истории состояний и обучающей выборки формирует статистику зависи-

мостей каждого последующего состояния события от вектора его текущего состояния. Причем это делается для всех входных параметров параллельно.

Архитектура глубоких однонаправленных *RNN* достаточно разнообразна, но в основе ее всегда находятся обратные связи, позволяющие упрощать процедуры обучения *NN*. Такие структуры можно реализовать в *keras*, например, как *(batch_size, timesteps, units)*, с описанием последовательно:

- размера исходного пакета данных, по которому производится настройка весовых коэффициентов;
- размера последовательности выходных сигналов (для нас удобно *inp_cond* и *inp_event*);
- числа нейронов в *RNN*-синапсе.

Реализация такой структуры *RNN* в *keras* может быть осуществлена следующим программным фрагментом, уточняемым для каждого из промежуточных выходов:

```
....
model = Sequential()
model = add(embedding(maxWordsCount, 64, input_event = inp_status))
model = add(simpleRNN(32, activation='tanh'))# (batch_size, timesteps,
units)
model = add(simpleRNN(16, activation='tanh')) |
model = add(Dense(maxWordsCount, activation='softmax'))
model = summary()
.....
```

Кроме того, модель рекуррентной нейронной сети, построенная на подобных данных, может содержать в достаточно большом количестве случайные и неопределенные сигналы на ее входе, которые будут влиять на конечный результат.

Обратим здесь внимание на то, что в библиотечных программах *framework keras*, которые используются для создания и обучения рабочих моделей *RNN*, важным моментом является символизация каждого из событий и их состояний. Пакеты программного обеспечения *Keras[TensorFlow]* устанавливаются при помощи команд *-pip instal keras* или *-pip instal tensorflow* и *-pip instal tf-nightly*. При работе в библиотеке *keras* актуальными в приложении являются такие программы:

- *numpy (np)* — при работе с матрицами и векторами, что актуально для множества неопределенных входов;
- *Matplotlib (plt)* — для изображения графических данных в программах.

Нейросети с обратными связями могут представлять интерес как способ стабилизации работы модели нейронов, например, с целью уточнения величин весовых коэффициентов и получения более точного результата при прогнозировании результирующих образов $f(x, C_1, C_2)$. В нейросетях этот процесс называется обучением. В такой сети следует запастись еще одним важным параметром — ее энергетической составляющей. Энергетическая структура сети $E(x)$ является функцией ее состояния и называется энергетической функцией нейросети или энергией активации нейрона. Здесь и далее мы будем ссылаться на работы [5, 6, 7, 8].

Этот показатель определяет возможности весовых коэффициентов, главным образом, относящихся к обратным связям в модели нейрона. Они неодинаковы. Чем большая доля энергии активации относится к конкретному весовому коэффициенту обратной связи, тем значимее эта связь, тем сильнее она влияет на процессы управления выходным сигналом $y=f(x)$ нейронной модели, тем более пороговый уровень возбуждения его входного сигнала $b(x_i)$. Безусловным ответом служит зависимость выходного сигнала в модели от уровня такого возбуждения в соотношении с его порогом $y=f[x_i, h(x_i)]$. В самом общем случае, энергия активации обратных связей может быть сопоставима в пропорции с соотношением весовых коэффициентов этих обратных связей. Их смысловое значение значительно глубже и сложнее.

Геометрическая интерпретация энергетической функции нейросети в координатах бинарного отображения показана на примере двух нейронов (рис. 8.7, а). Если нейронов будет больше, то увеличится сложность прочтения, хотя содержание останется тем же. В системе бинарных координат (0;0, 0;1, 1;0, 1;1) стрелочками показаны основные направления траек-

тории изменения энергетического потенциала на любом этапе бинарного состояния системы. Эквипотенциальные линии на рисунке отражают объединенные энергетические состояния системы с одинаковыми потенциалами. При движении траектории в сторону какого-либо нейрона R_j с каждым шагом итерации энергетическая функция по i -му входу уменьшается на величину Δe_{ij} . При этом область на рисунке вокруг нейрона принадлежит к минимальному энергетическому потенциалу, так называемой потенциальной «яме», которая характеризует состояние нейрона, отвечающее конечному результату анализа образов. При прочтении каждого шага итерации может иметь место сжатие поля (показатель сжатия — $0 \leq \alpha \leq 45^\circ$ (рис. 8.7, б), при котором скорость снижения энергетического потенциала на каждом шаге итерации увеличивается. При этом уменьшается количество шагов итерации до достижения конечного результата. Параметр α отображает скорость уменьшения энергетической функции нейрона на каждом шаге итерации, таким образом, что $tg \alpha = \frac{\Delta e_{ij}}{\Delta \tau}$. Чем больше α , тем система ближе к состоянию минимума энергетической функции при минимальном количестве шагов итерации. И наоборот, если $\alpha \rightarrow 0$, это означает, что для обеспечения конечного результата для соответствующего нейрона количество шагов итерации увеличивается, а отрицательный градиент энергии активации на каждом шаге будет небольшим. Таким образом параметр α характеризует мощность работы сети.

При этом претерпевают изменение координаты нейронов. Они уходят от привычных состояний, отмеченных бинарными обозначениями, внутрь области прочтения. Вместе с ними внутрь этой области перемещаются и энергетические состояния нейронов. За счет деформации координатной сетки меняется философия системы координат таким образом, чтобы была возможность прочтения энергетики нейрона, даже в ущерб ее образной волатильности. Следует не забывать, что точка $(1;0)$ в координатной сетке « C_1 , C_2 » в прочтении является единственно правильной, так как ей соответствуют образы « C_1 », равный единице, т.е. «истина», и « C_2 », равный нулю, т.е. «ложь» (см. табл. 8.4).

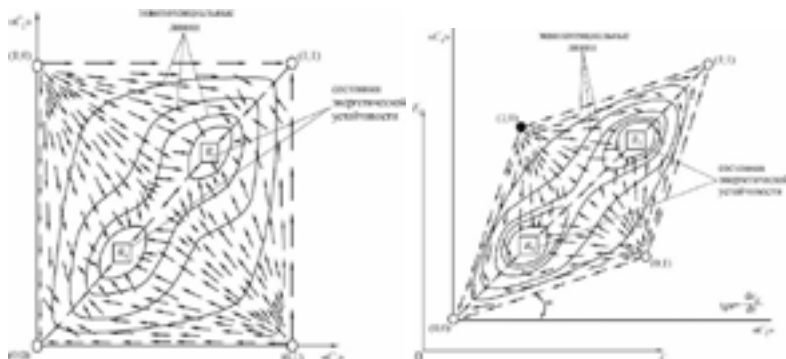


Рис. 8.7 — Геометрическая интерпретация энергетической функции E нейросети RNN , состоящей из двух нейронов R_1 и R_2 . (координаты « C_1 , C_2 » относятся к бинарному прочтению образов). Здесь:

- а) траектории стандартного несжимаемого поля; б) траектории напряженного энергетического поля

Наиболее простой и доступный алгоритм показывает, при каких значениях входных сигналов функция активации нейронов будет локально минимальной, тем самым приводя сеть с обратными связями к конечному результату, и включает следующее.

Допустим, что мы имеем некоторую функцию $\varphi(\bar{x}) = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N)$, состоящую из входных сигналов. Последовательность новых точек, получаемых в результате оптимизации и отвечающих условию локального минимума энергии, представим в виде нужного ответа $\bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i, \bar{x}_{i+1}, \dots$

Принцип минимизации включает:

- выявление некоторой абстрактной новой точки $\bar{x}_{i+1}$ на основе предыдущей $\bar{x}_i$ при помощи некоторого вычисления, как бы понижая тем самым искусственную энергию активации;
- допущение некоторого оператора Θ для получения конечного результата — условия минимизации энергии активации для новой точки, делая ее в этом случае конечной $\bar{x}^*$;
- определение условия, при котором этот конечный сигнал $\bar{x}^*$ является следующим, необходимым для нас значением из числа

$\bar{x}_{i+1}$. Это осуществляется при помощи вероятности того, что это произойдет, следующим образом:

$$P(\bar{x}^* \rightarrow \bar{x}_{i+1})\bar{x}_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \varphi(\bar{x}^*) < \varphi(\bar{x}_i) \\ e^{-\frac{\varphi(\bar{x}^*) - \varphi(\bar{x}_i)}{E_i}} & \text{если } \varphi(\bar{x}^*) \geq \varphi(\bar{x}_i) \end{cases} \quad (8.4)$$

Здесь E_i — убывающая энергия активации для нейрона. Она изначально большая, но при последующих итерациях постепенно уменьшается для последовательно получаемых нами точек $\bar{x}^*$.

Величина $P(\bar{x}^* \rightarrow \bar{x}_{i+1})\bar{x}_i$ показывает условие, при котором новое значение $\bar{x}_{i+1}$ станет следующим за $\bar{x}_i$, при котором энергия активации понизится. Эта вероятность может быть либо единицей, и тогда мы принимаем новую точку $\bar{x}_{i+2}$ и снова ищем минимум по оператору Θ . Либо точка-кандидат при помощи распределения Гиббса показывает нахождение выше уже имеющегося значения $\bar{x}_{i+1} > \bar{x}_i$ по параметру E_{i+1} , и поэтому предыдущая точка обеспечивает требуемый нами минимум энергии активации.

На основании такого алгоритма работает, в частности, статистическая модель сети Хопфилда.

Попытаемся построить фрагмент нейросети (рис. 8.8), отражающий доступными понятиями состояние системы, предшествующей, например, аварийному воспламенению бензина и взрыву в дороге во время транспортировки (событийные образы « $C_1^{(1)}, C_2^{(1)}$ » для сумматора сигналов R_1), или взрыву во время слива бензина в стационарные емкости (событийные образы « $C_1^{(2)}, C_2^{(2)}$ » для сумматора сигналов R_2). Составим фрагментарную трехсинапсную модель для выбора образов в независимой формации. Согласование отдельных моделей нейронов происходит только на этапе применения положительных и отрицательных обратных связей. В качестве исходной энергетической составляющей примем для обоих вариантов выхода системы $E^{R_1} = E^{R_2} = 0,9(9)$. Заданные параметры для расчета следующие:

- минимальное число заданных образов для каждого класса образов $N=20$;
- задаваемый порог активации $h=7,0$;

- параметр ожидаемого результата $d=7$;
- шаг сходимости для алгоритма «back propagation» $\lambda=0,2$;
- заданная поисковая ошибка сети $\varepsilon=0,05$.

Последовательность расчета включает алгоритмы и программы: линейную *APRS*, обратных связей *ASBU*, корректировки весовых коэффициентов (обучения) *ASAWS* и *MLOps* на платформе *TensorFlow* [9, 10, 11].

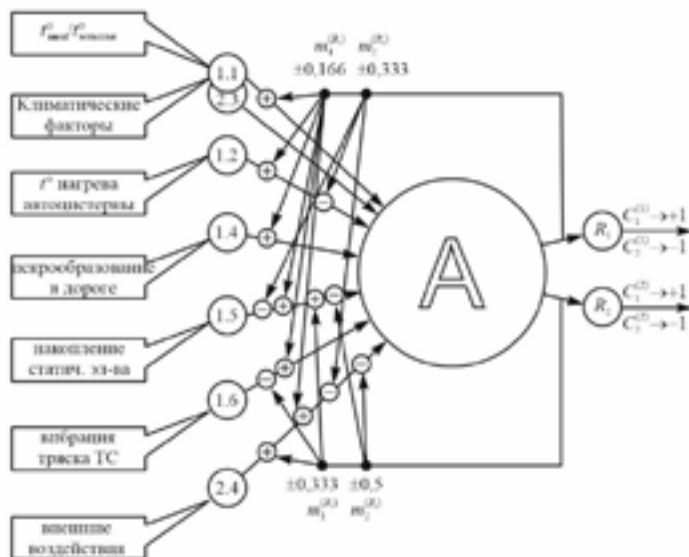


Рис. 8.8 — Модель рекуррентной нейросети *RNN* с обратными связями для условий определения риска при автотранспортировке легковоспламеняющейся жидкости

В целом, в модели с обратными связями событие, образ которого «С», считается состоявшимся, если в нем участвуют связи положительные, влияющие на усиление этого сигнала, то есть, они оказывают влияние на достижение конечного результата. И, наоборот, если событие в образе «С» не происходит, это означает, что в сети существуют входные сигналы, энергия которых благодаря отрицательным обратным связям постоянно

угасает и они не оказывают влияния на достижение конечного результата. На практике, события с отрицательной обратной связью должны препятствовать проявлению событийного риска в системе, а события, имеющие возможности к положительным обратным связям, приводят к реализации риска. Такая интерпретация работы нейронной сети с обратными связями имеет место потому, что это динамическая система, и ее состояние меняется с течением времени, в каждый момент которого входной сигнал в ней меняется в зависимости от выходного результата.

Например, в системе линейной модели нейрона предикат 1.1 — «авария произойдет в результате изменения температуры внешнего воздуха путем накопления взрывоопасных паров внутри цистерны с жидкостью» должен обязательно привести к взрыву, если для этого не изменятся внешние условия в динамике. Если применить к этой схеме обратную отрицательную связь (см. рис. 8.8), то возникает стабилизирующий механизм, относящийся к нейрону, отвечающему за сигнал 1.1, и можно говорить о том, что заданная внешняя величина сигнала 1.1 будет уменьшаться. Это означает, что такой нейрон получил возбуждение входного слоя с помощью дендрита, который обладает отрицательным синапсическим весовым коэффициентом (на рис. 8.8 обозначено знаком «—»). Такой признак можно отнести ко всем частям паттерна, которые имеют отрицательную обратную связь с выходной функцией $f(x)$. Одновременно положительная обратная связь, например, в предикате 1.5 — «накопление статического электричества при перевозке легковоспламеняющейся жидкости» должна усиливать возбуждение соответствующего нейрона, ответственного за этот предикат.

Стрелки, обозначающие обратные связи, отмечены своими весовыми коэффициентами, которые изначально назначаются, а потом, в результате корректировки, то есть «обучения» модели, уточняются. Например, выбор весовых коэффициентов для результата R_1 обусловлен его влиянием на сигналы $x_{11}, x_{12}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{24}$ с положительными обратными связями и x_{23} — без обратной связи, и определяется как $m_1^{(R_1)} = \pm 0,167$, а для результата R_2 —

посредством влияния на сигналы x_{15} и x_{24} — с положительными обратными связями и x_{15} , x_{16} и x_{24} — с отрицательной обратной связью рассчитывается как $m_1^{(R_2)} = \pm 0,333$ (по данным таблицы 8.15). В отличие от классической схемы нейрона с обратными связями, в данном случае отмеченные шесть и три события, соответственно, указанные выше, не образуют исчерпывающего их множества. Поэтому мы не применяем правила синхронного изменения достоверности одних параметров за счет других.

Таблица 8.15 — Значения весовых коэффициентов для паттернов с обратными связями (см. рис. 8.8)

№	Наименование коэффициента	Признаки влияния коэффициента (паттерны)	Значение коэффициента
1	$m_1^{(R_1)}$	+1.1, +1.2, +1.4, —1.5, +1.6, +2.4	$\pm 0,167$
2	$m_2^{(R_1)}$	-1.2, +1.5, —2.4	$\pm 0,333$
3	$m_1^{(R_2)}$	+1.5, —1.6, +2.4	$\pm 0,333$
4	$m_2^{(R_2)}$	-1.5, —2.4	$\pm 0,5$

Примем интегральную функцию активации в виде

$$E := \frac{\sum_{i,j=1}^{N,2} m_{ij} e_{ij}}{\sum_{i=1}^N m_i} \quad (8.5)$$

такой, чтобы каждое $e_{ij} := \text{if } e > h_i \text{ then if } E < 1 \text{ then } E, \text{ else } 1 \text{ else } 0$. Здесь e_{ij} — функция возбуждения нейронов по $i=1, N$ входам и по $j=1, 2$ выходам. Значения весовых коэффициентов нейронов входного слоя в указанном ансамбле паттерна примем согласно условиям нашей задачи (см. табл. 8.5). Уровни пороговых значений возбуждения нейронов огрубим в пределах 10% и в соответствии с условиями решаемой задачи для исходных нейронов, а для нейронов с обратными связями — соответственно данным (см. рис. 8.8).

Таблица 8.16 — Результаты расчета фрагментарной модели трехсинапсного нейрона с обратными связями по выходу для энергетической составляющей весовых коэффициентов обратных связей в диапазоне $E = 0,04 \div 0,97$

№ п/п	Входные сигналы	Циклы обратной связи								R_1	
		I		II		III		IV			
		$m_2^{(R_1)}$	$m_1^{(R_1)}$	$m_2^{(R_1)}$	$m_1^{(R_1)}$	$m_2^{(R_1)}$	$m_1^{(R_1)}$	$m_2^{(R_1)}$	$m_1^{(R_1)}$	C_1^1	C_2^1
1	x_{11}	+0,5	-	+0,167	-	+0,167	-	+0,167		+1	-
2	x_{12}	+0,5	-0,5	+0,33	-0,5	+0,33	-0,5	+0,167	-0,33	+1	-1
3	x_{14}	+0,5	-	+0,33	-	+0,167	-	+0,167	-	-1	-
4	x_{15}	+0,5	-0,33	+0,167	-0,33	0,167	-0,33	+0,167	-0,33	+1	-1
5	x_{16}	+0,5	-	+0,33	-	+0,25	-	+0,167	-	-1	-
6	x_{23}	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
7	x_{24}	+0,33	-0,33	+0,167	-0,33	+0,167	-0,33	+0,167	-0,33	+1	-1

Воспользуемся известными нам алгоритмами программ *SPRS* и *APRS* по принадлежности с последующей корректировкой весовых коэффициентов по программам, подобным *ASAWC*, обозначенным в данной работе. Обратная связь будет учитываться суммированием (вычитанием) весового коэффициента каждого анализируемого входного сигнала. Результаты расчета весовых коэффициентов для обратных связей представлены в табл. 8.16 и табл. 8.17.

Например, наиболее существенное влияние на срабатывание системы и по первому выходу, и по второму имеет входной сигнал x_{15} — «накопление статического электричества»: как по положительной, так и по отрицательной обратной связи. Например, поставим исходным условием $m_1^{(R_1)} = m_1^{(R_2)} = m_2^{(R_2)} = \pm 0,5$. При этом оценку любого риска из двух возможных (см. рис. 8.8) свяжем не только с этим сигналом, но и с другим аналогичным по влиянию на систему — x_{24} — «внешнее воздействие на систему». Он является не вполне конкретным, но по мнению нейронной сети *RNN* в таком исполнении — значимым. Присвоим ему ту же последовательность изменяемых впоследствии весовых коэффициентов обратной связи также $m_1^{(R_1)} = m_2^{(R_1)} = \pm 0,333$, а значениям $m_1^{(R_2)} = m_2^{(R_2)} = 0,5$. При этом текущие значения коэффициентов обратной связи для остальных сигналов x_{11} , x_{12} , x_{14} , x_{16} и x_{23} примем равными нулю ($m_1^{(R_1)} = m_2^{(R_1)} = m_1^{(R_2)} = m_2^{(R_2)} = 0$). Этим мы отбрасываем возможности влияния других сигналов на картину поведения нейронов с обратными связями. Такая условность будет несколько исказить результат, но зато даст возможность оценить динамику процесса.

Итак, решение задачи для таких условий показывает, что даже при первой ссылке на положительную обратную связь по параметру x_{15} — «фактор накопления электростатических зарядов в системе перевозки легковоспламеняющейся жидкости» система выдает готовое решение по первому выходу R_1 в виде реального риска по образу « $C_1^1 \cong +1$ », и далее положительная обратная связь только усиливает это назначение. При этом весовой коэффициент $m_1^{(R_1)} \rightarrow +0,167$, как и было запланировано.

Таблица 8.17 — Результаты расчета фрагментарной модели трехсинапсного нейрона с обратными связями по выходу R_2 для энергетической составляющей весовых коэффициентов обратных связей в диапазоне $E = 0,04 \div 0,99$

№ п/п	Входные сигналы	Циклы обратной связи								R_2	
		I		II		III		IV			
		$m_1^{(R_2)}$	$m_2^{(R_2)}$	$m_1^{(R_2)}$	$m_2^{(R_2)}$	$m_1^{(R_2)}$	$m_2^{(R_2)}$	$m_1^{(R_2)}$	$m_2^{(R_2)}$	C_1^2	C_2^2
1	x_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	x_{12}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	x_{14}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	x_{15}	+0,5	-0,5	+0,5	-0,33	+0,33	-0,5	+0,33	-0,33	+1	-1
5	x_{16}	-0,33	-	-0,33	-	-0,33	-	-0,33	-	+1	-
6	x_{23}	0	0	0	0	0	0	0	0	-+1	-
7	x_{24}	+0,5	+0,5	+0,5	+0,33	+0,33	+0,33	0,167	0,33	+1	-1

И по второму выходу система показывает готовое решение в виде « $C_1^2 \cong +1$ ». Это означает, что x_{15} реально приводит к аварийной ситуации как во время транспортировки, так и во время слива жидкости. И при нескольких циклах обратной связи ситуация не изменяется.

По входному параметру x_{12} — «температура нагрева цистерны с бензином» модель с положительной обратной связью показывает положительную реакцию по параметру «риск», а именно « $C_1^1 \cong +1$ » только в узком диапазоне размера коэффициента обратной связи $m_1^{(R_1)} \rightarrow 0,167$. Аналогичным образом система ведет себя в отношении параметра x_{15} — «отношение температуры вспышки бензина к температуре окружающего воздуха». В этом случае положительная обратная связь дает результат при конечном значении $m_1^{(R_1)} \cong 0,167$. Только в том случае, если автотранспорт находится в пути, этот параметр может «работать».

А вот ситуация с параметром x_{14} — «внешние воздействующие факторы» не совсем однозначна. Как показывают расчеты, для него существует область « $C_1^2 \cong +1$ », при которой весовой коэффициент обратной связи находится в пределах $0 < m_2^{(R_2)} \leq 0,333$, что означает реальный риск от такого фактора. Но при $0,333 < m_2^{(R_2)} < 0,5$ система отвечает только на образ « $C_2^2 \cong -1$ », то есть, она не реагирует на опасность по данному входному сигналу, при условии существования отрицательной обратной связи.

При этом нейронная сеть с обратной связью вообще не реагирует на параметр x_{23} — «изменение климатических условий при транспортировке бензина».

Таким образом, использование модели нейронной сети с обратными связями несколько меняет картину представления о рисках в системах транспортировки бензина. **При любых условиях главную опасность представляют электростатические заряды, накапливающиеся при транспортировке бензина, как во время перевозки, так и во время слива жидкости по месту назначения. Ситуация усугубляется при наличии внешних воздействий, например, механических и др. на сам бензовоз,**

в результате чего риск взрыва при некоторых других сопровождающих условиях неизбежен.

Чаще всего в таких расчетах при увеличении цикличности обратной связи и уточнении коэффициентов $m_i^{(R_j)}$ в системе появляются еще некоторые входные параметры, в конечном результате дающие право на реальный риск.

Таким образом нейронная сеть RNN с обратными связями, получая информацию о предыдущих состояниях событий, может несколько изменять действенность входных параметров для всех получаемых вариантов, уточняя некоторые из них и не подтверждая другие. Кроме того, безусловно, такой расчет и такая модель определенным образом уточняют результаты аналитических исследований событийных рисков.

Вернемся к понятию энергетической активности нейронной сети. В показанном примере пока не была очевидной ее роль. Это связано с тем, что представленная фрагментарная модель нейросети не относится к моделям Хопфилда, а именно, к динамическим сетям с симметричной матрицей связей. Но такая модель имеет право на существование в системе анализа событийного риска, если принимать во внимание все возможные варианты обратных связей, как положительных, так и отрицательных. Энергетическая составляющая в таком анализе представляется весьма привлекательной с точки зрения как его объективности, так и эффективности получаемых результатов.

Без рассуждений о способе получения, запишем общий вид энергетической функции в нейросетях с обратными связями, которую удобно использовать в практических расчетах, как взвешенную сумму входных сигналов, приведенную к весовым коэффициентам обратных связей и ко времени трансформации обратно связанного нейрона:

$$\begin{aligned} E(x) &= -\frac{\sum_i \sum_{j \neq i} (m_{ij} x_i x_j)}{2} + \sum_i x_i T_i = \\ &= -\frac{\sum_i b_j x_i}{2} + \sum_i x_i T_i, \end{aligned} \quad (8.6)$$

где T_i — интервал времени работы нейрона в системе обратной связи по i -му входу.

Ее изменение имеет вид

$$\delta E = -[x_i(t+1) - x_i(t)] \cdot [h(x_i) - T_i] \leq 0, \quad (8.7)$$

как, например, это имеет место в сети Хопфилда для симметричных связей типа $m_{ij}=m_{ji}$. В самом общем случае, выражение (8.7) представляет собой раскрытое условие теоремы Кохена — Гроссберга, показывающей условия устойчивости сетей Хопфилда [12]. Поэтому дальнейшие наши рассуждения будут относиться к этим сетям.

Суть теоремы Кохена — Гроссберга заключается в том, что, если матрица весовых коэффициентов обратной связи нейросети симметрична (условия $m_{ij}=m_{ji}$ и $m_{ij}=0$ для всех $\forall i, j, \dots, n$), значит бинарная нейросеть Хопфилда будет устойчивой. При этом изменение энергетической функции при смене состояния j -го нейрона по любому i -му входу не может быть положительным. Эти два условия из теоремы Кохена — Гроссберга фактически позволяют управлять такими сетями.

Легко представить выражение для расчета изменения энергетической функции (8.7) при смене состояния j -го нейрона следующим образом

$$\begin{aligned} \delta E &= -[\sum_{i \neq j} (m_{ij} x_i) + I_j - h] \delta f(x_j) = \\ &= -[ix_j - h_j] \delta f(x_j) \end{aligned} \quad (8.8)$$

где $\delta f(x_j)$ — изменение функции выхода j -го нейрона.

Направление изменения вектора энергии при переходе нейрона из одного бинарного состояния в другое указывает на динамику изменения состояния сети Хопфилда, а именно, в какой степени изменяется функция энергии E при изменении величины выхода j -го нейрона $f(x_j)$ в зависимости от влияния сигнала обратной связи.

1. Если $ix_j - h_j > 0$ и новое состояние j -го нейрона должно быть выше, чем старое, т.е. $\delta f(x_j) > 0$. Значит, должно быть $\delta E = -+ < 0$.

2. Если $ix_j - h_j < 0$ и новое состояние j -го нейрона должно уменьшиться по сравнению со старым, т.е. $\delta f(x_j) < 0$. Значит, снова получим $\delta E = -- < 0$.

3. Если $ix_j - h_j = 0$ и новое состояние j -го нейрона неотлично от старого, т.е. $\delta f(x_j) = 0$. Мы получим $\delta E = 0$.

То есть при любых изменениях в системе ее энергия $\delta E \leq 0$ не может увеличиваться. Это означает, что при любом изменении состояния сети Хопфилда функция ее энергии уменьшается. В крайнем случае, не изменяется. Собственно, это повторение доказательства замечательной теоремы Кохена — Гросберга об условиях устойчивости нейросети Хопфилда, которое показывает, что применение обратных связей в нейросети обязательно завершится *конечным результатом*, характеристикой которого будет наименьшее значение энергии активации E .

Введенная таким образом величина E в общем виде является функцией состояния системы $E = E(x)$ и называется энергетической функцией (энергией) нейронной сети. Правда, как функционал, она относится только к симметричным сетям Хопфилда. Но даже там она не показана как соответствующая четному множеству, потому что и в нейросетях Хопфилда число нейронных слоев не обязательно четное. По крайней мере, мы всегда можем представить структуру событийной модели в симметричном виде, ссылаясь на бинарность требуемого логического результата.

В связи с этим уточним структуру выходного сигнала как $y = \varphi(x, E)$, понимая, что существует зависимость $m_{ij}(\Delta E)$ от своей части энергетической составляющей ΔE для каждого j -го нейрона и для каждого его i -го входа. Она имеет свойство невозрастания в динамической сети и является аналогом функции Ляпунова, как критерий устойчивости динамической системы. Легко показать, что при соблюдении условия (8.7) система является устойчивой при любом исходном состоянии паттерна $x_i(t=0)$ и при любом состоянии симметричной матрицы входных сигналов (с нулевыми диагональными значениями). При этом активность нейрона будет совпадать по знаку с пороговыми значениями входных сигналов при их возбуждении h_j в j -м нейроне, что свидетельствует о на-

хождении функции $E(x)$ в одном из минимумов аналога по производной (8.6) функции Ляпунова. Число таких минимумов может быть большим, а сама функция отклика в виде колебательного процесса — достаточно сложной для прочтения.

Сделаем еще одно замечание для более полного понимания смысла рекуррентных нейросетей с обратными связями. В подобных сетях появляется удобное понятие инициализирующего входа маркируется в виде метрики ix). Это начальное значение входного сигнала, с которым начинает работать сеть, посылая затем, вместо инициализирующего входа, новый промежуточный сигнал. В теории управления такая запись, приведенная к понятиям нейронной сети, имеет вид

$$\begin{aligned} f(x_j) &= m_{ij}x_{ij} + \sum_{j \neq i}^n \Delta x_{ij} = \\ &= m_{ij}x_{ij} + \sum_{j \neq i}^n (ix_{i(j-1)} \pm x_{ij}) \end{aligned} \quad (8.9)$$

$$f(x_j) = 1, \text{ если } \Delta x_{ij} > h(t)$$

$$f(x_j) = 0, \text{ если } \Delta x_{ij} < h(t)$$

$$\begin{aligned} f(x_j) &\text{ не изменяется, если } \Delta x_{ij} = h(t) \\ j &= 1, 1, m \end{aligned}$$

Обратная связь, попадая в систему распределения входного воздействия, ведет себя следующим образом. Инициализированный метрический сигнал ix и все последующие за ним x_{ij} , в качестве сигнала обратной связи $f(ix)$ и $f(x_{ij})$, направленные на сумматор входного сигнала, распределяются неравномерно между всеми нейронами данной сети в пропорции весовых коэффициентов этих обратных связей.

Здесь показан бинарный выход для одного j -го нейрона, и он аналогичным образом транзитируется на всю сеть, что соответствует условиям любой проблемы о поиске событийного риска в прикладных задачах. Поэтому сети Хопфилда могут представлять интерес в нашем исследовании. Такие задачи имеют смысл, если нейросеть обладает статическим аттрактором, который можно принимать за выход всей сети. Такая интерпретация выходного

сигнала дает возможность иметь устойчивый и не зависящий от других условий единственный результат.

Необходимые веса для функций обратной связи вычисляются на основе сопоставления стандартной функции энергии и той функции, которую необходимо оптимизировать в рамках поставленной задачи. Этот процесс требует индивидуально-го творчества. Алгоритм подбора весов в бинарной модели Хопфилда для случая распознавания событий общем случае таков.

Для общего числа нейронов в сети M зададимся эталонами весов в виде множества $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N$, где N — число последовательных состояний для события «С» (1,0) до его устойчивого N -го состояния. Для каждого такого эталона матрица весов $m \times m$ должна быть описана как решение матричного уравнения

$$\begin{aligned} X_i &= m \cdot x_i, & \forall i &= 1, 1, N \\ & m \times 1, m \times m, m \times 1 \end{aligned} \quad (8.10)$$

Мы получаем новое состояние нейронов сети Хопфилда, которое совпадает со старым (эталонным). Таким образом достигается состояние устойчивости образа события «С_n» на n -м шаге. Поскольку вектор X_i является бинарным (1,0), то из (8.10) по правилам матричной алгебры следует

$$m_{pq} = \frac{1}{M} X_i^p X_i^q, \quad (8.11)$$

где p и q — матричные координаты.

Условие (8.11) необходимо распространить на все эталоны $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N$ их суммированием по всем i :

$$m = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N X_i \cdot X_i^T. \quad (8.12)$$

Выборка весовых коэффициентов по формуле (8.12) позволяет говорить о том, что все выбранные эталоны будут восстановлены в модели нейронной сети. Такой расчет должен иметь конечным результатом матрицу весов, соответствующих эталонным, которые применимы к данной сети (табл. 8.18).

Таблиця 8.18 — Матриця смежності весових коефіцієнтів обратных связей для модели Хопфилда, построенной для условий задачи о транспортировке легковоспламеняющихся жидкостей (столбцы относятся к весовым коэффициентам прямых связей, строки — к весовым коэффициентам обратных связей)

i/j	$m_{1,11}$	$m_{1,12}$	$m_{1,14}$	$m_{1,15}$	$m_{1,16}$	$m_{1,24}$	$m_{2,12}$	$m_{2,15}$	$m_{2,24}$	$m_{1,15}$	$m_{1,16}$	$m_{1,24}$	$m_{2,15}$	$m_{2,24}$
$m_{1,1,1}^{(R_1)}$	0	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	-	-	-	0,333	-0,33	0,333	-0,5	-0,5
$m_{1,2,1}^{(R_1)}$	0,167	0	0,167	0,167	0,167	0,167	0,333	0,333	0,333	-	-	-	-	-
$m_{1,4,1}^{(R_1)}$	0,167	0,167	0	0,167	0,167	0,167	-	-	-	-	-	-	-	-
$m_{1,5,1}^{(R_1)}$	0,167	0,167	0,167	0	0,167	0,167	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	-
$m_{1,6,1}^{(R_1)}$	0,167	0,167	0,167	0,167	0	0,167	-	-	-	0,333	0,333	0,333	-	-
$m_{2,4,1}^{(R_1)}$	0,167	0,167	0,167	0,167	0,166	0	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	-
$m_{1,2,2}^{(R_1)}$	-	0,33	-	0,333	-	0,333	0	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	-
$m_{1,5,2}^{(R_1)}$	-	0,33	-	0,333	-	0,333	0,333	0	0,333	0,333	0,333	0,333	-	-
$m_{2,4,2}^{(R_1)}$	-	0,33	-	0,333	-	0,333	0,333	0,333	0	0,333	0,333	0,333	-	-

i/j	$m_{1,11}$	$m_{1,12}$	$m_{1,14}$	$m_{1,15}$	$m_{1,16}$	$m_{1,24}$	$m_{2,12}$	$m_{2,15}$	$m_{2,24}$	$m_{1,15}$	$m_{1,16}$	$m_{1,24}$	$m_{2,15}$	$m_{2,24}$
$m_{15,1}^{(R_2)}$	0,33	-	-	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0	0,333	0,333	-	-
$m_{16,1}^{(R_2)}$	-0,33	-	-	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0	0,333	-	-
$m_{24,1}^{(R_2)}$	0,33	-	-	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0	-	-
$m_{15,2}^{(R_2)}$	-0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-0,5
$m_{24,2}^{(R_2)}$	-0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,5	0

Наиболее полную взаимозависимость между всеми паттернами показывают входные сигналы x_{15} и x_{24} . Как следует из матрицы смежности, суммарный интегральный вес этих паттернов по обратным сигналам одинаков и составляет $\Sigma m_{15} = \Sigma m_{24} = +2,83$, что свидетельствует об относительно малом числе циклов обратных связей для достижения минимума энергетической функции для этих сигналов. Выделенная расчетная область содержит внутри себя еще один сигнал x_{16} с предикатом «вибрация и тряска транспортного средства при перевозке легковоспламеняющейся жидкости». Это говорит о сопоставимости предикатов от сигналов $x_{1.6}$ и $x_{2.4}$ для данной модели. Действительно, вибрация и тряска в дороге могут считаться одним из вариантов внешнего воздействия и также влиять на появление реальных рисков, связанных, например, с накоплением электростатического электричества в пути.

Таблица 8.19 — Весовые коэффициенты обратных связей, как характеристика значимости входных предикатов на уровень риска в системе транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей

№	Входные предикаты	m_{ij}		
		(R_1)	(R_2)	(R_Σ)
1	1.5 — накопление статического электричества	-0,167	-0,167	-0,333
2	1.6 — вибрация и тряска ТС в пути	+0,167	-0,333	-0,167
3	2.4 — факторы внешнего воздействия	-0,167	-0,167	-0,333

Как следует из рис. 8.8, наибольшее влияние обратные связи оказывают на предикат 1.5 — «статическое электричество», а также на предикат 2.4 — «внешние факторы». Суммарные значения весовых коэффициентов обратных связей составляют $m_{15} = +0,167 - 0,333 + 0,333 - 0,5 = -0,333$ и $m_{24} = +0,167 + 0,333 - 0,333 - 0,5 = -0,333$ соответственно. Равнозначность по обрат-

ным связям означает не только одинаковость их минимального энергетического потенциала и минимальное количество циклов для достижения этого минимума, но и равнозначность влияния этих показателей на потенциальный риск, а также опасность их сопряжения в последовательности событий, предшествующих реализации такого событийного риска. Для риска (R_1) предикат $x_{1,6}$ является дестабилизирующим, потому что для него $m_{ij} > 0$, а для риска (R_2) — наоборот, имеет стабилизирующее значение потому, что его $m_{ij} < 0$ (табл. 8.19).

Таким образом, введение обратных связей в модель нейросети для анализа рисков в системе транспортирования легковоспламеняющейся жидкости по дорогам Украины в летний период показывает, что **наиболее опасным фактором, способствующим появлению событийного риска, является по-прежнему накопление электростатического потенциала, что усугубляется появлением внешнего воздействующего фактора, например, вибрации и тряски всей системы в пути.**

Таким образом, применение обратных связей в модели позволяет уточнить полученные ранее результаты и сделать расчет более точным.

8.4. Претензионные области глубоких рекуррентных сетей *RNN* при оценке событийных рисков

Одним из узких мест при использовании нейронных сетей *NN* для прогнозирования событийных рисков являются достаточно большие объемы исходной информации — о событиях, об их состояниях, в особенности в условиях высокой неопределенности входных сигналов или в случае недостаточности информации о случайных входных сигналах. Учитывая, что хранителями информации в *NN* являются весовые коэффициенты, каждый из которых подлежит уточнению в процессе обучения сети, в процессе эксплуатации таких сетей приходится удерживать большие

объемы учитываемой информации, которая после обучения сети становится ненужной. Глубокие рекуррентные нейронные сети *RNN* в определенных конфигурациях позволяют учитывать такие особенности моделей для прогнозирования рисков. В частности, их можно применять для прогнозирования состояния объектов в каждый конкретный момент времени посредством присутствия вероятности таких состояний.

Для того, чтобы обеспечить возможности для учета прошлых состояний каждого события и хранения их до тех пор, пока они являются актуальными для прогнозирования, в модели *RNN* использована специальная архитектура долгой краткосрочной памяти *LSTM* (*long short-term memory*). Такой канал, позволяющий сохранять информацию о состоянии события, содержит операции поэлементного умножения с последующим поэлементным сложением в масштабах одного синапса, инициирующего так называемый *Deep Transition RNN* (*DT-RNN*).

Работа блока *LSTM* формируется по следующему правилу: вначале «забывается» то, что требовалось на этапе обучения (*back propagation Through Time* — *BPTT*) и не представляет последующего интереса, а потом добавляется новое и нужное, но уже в процессе работы *RNN*. Порядок разделения информации на актуальную и ненужную задается в процессе обучения сети так, чтобы сеть сама деактуализовала ненужные значения функции активации f_{i3} (в данном случае) соответствующего синапса, численные значения которой изначально задаются дробными величинами в пределах от 0 до 1. Такими же свойствами наделяется при обучении вектор i_f с размерностью от 0 до 1. По сути векторы i_f и f_{i3} отвечают за способности *LSTM* дифференцировать информацию о состоянии события на нужную и лишнюю.

Такой подход к нейронным сетям с обратными связями позволяет сформулировать один весьма интересный, в качестве расчетного для прогнозирования событийных рисков, метод, основанный на свойствах рекуррентных сетей. Основные положения его таковы.

Предлагается метод ф-пошаговой итерации событийных рисков с использованием RNN . Он включает выявление на каждом предыдущем $(\varphi - 1)$ -м расчетном шаге нейронной сети, существенных рисков, являющихся отображениями наиболее значимых весовых коэффициентов входных сигналов, которые для последующего шага итерации подаются в качестве обратной связи на вход сети. Таким образом, итерация повторяется уже для более узкого состава входных сигналов, но в заданной ранее конфигурации активационных слоев скрытых синапсов. На каждом последующем шаге итерации исключаются те входные сигналы, которые не привели к потенциальному рискообразованию на предыдущем этапе, а именно, получившие признаки: $X_{\text{вх } i}^{\varphi-1}(0,0)$; $X_{\text{вх } i}^{\varphi-1}(0,1)$ и $X_{\text{вх } i}^{\varphi-1}(1,1)$. Таким образом, пошаговая итерация рисков позволяет на некотором конечном φ -м шаге определить наиболее актуальный событийный риск с признаком $X_{\text{вх } i}^{\varphi}(1,0)$, связанный со всей исходной структурой входных сигналов.

Методика включает:

- выбор формы рекуррентной нейронной сети RNN ;
- формирование базы данных для входных сигналов $X_{\text{вх } i}$ рекуррентной сети;
- формирование базы данных для возможных случайных входных сигналов $Y_{\text{вх } p}$ в модели;
- определение числа и структуры скрытых нейронных слоев;
- определение функции активации для каждого нейронного слоя;
- задание весовых коэффициентов m_{1i} для каждого входного сигнала $X_{\text{вх } i}$ и $Y_{\text{вх } p}$;
- задание исходных нормативных показателей для сети;
- обучение сети по программам «*back propagation*» и уточнение весовых коэффициентов $\dot{m}_{ji}$ для каждого j -го слоя;
- выявление неактуальных входных сигналов на этапе действия обратных связей в модели RNN ;
- формирование нового пакета входных сигналов $X_{\text{вх } i}^{\varphi}$ для модели на φ -м этапе рекурсии по правилу $X_{\text{вх } i}^{\varphi} = X_{\text{вх } i}^{\varphi-1} -$

$-[X_{\text{вх } i}^{\varphi-1}(0,0) + X_{\text{вх } i}^{\varphi-1}(0,1) + X_{\text{вх } i}^{\varphi-1}(1,1)]$ (учетные состояния событийных классов в модели *RNN* см. ниже, табл. 8.20);

— определение максимально возможного значения для выходных сигналов на φ -м этапе рекурсии.

Иллюстрацией для возможностей применения методики пошаговой интерпретации событийных рисков с использованием *RNN* в процедурах анализа может служить опыт их выявления для таких объектов, как, например, системы водоснабжения в Древнем Риме. Такие системы, учитывая их историческую ограниченность в информации, тем более, технического характера, являются ярким примером изучения рисков в условиях существенной неопределенности. Небольшое введение в описание таких интересных систем позволит нам понять значение избыточной информации в целом для моделей *NN* и роль *RNN* для их реализации в прогнозировании рисков.

Здесь и далее мы будем фрагментарно ссылаться на работы авторов [13–36].

Вода в Древнем Риме, наравне с денежной системой, бесчисленными боевыми легионами и развитой системой дорог, являлась одной из главных составляющих Римской государственности, именно тем, что объединяло эту империю, цементировало и способствовало ее процветанию. Через сотни километров вода по аркадам, туннелям, проложенным через горы, поступала в многочисленные города и селения империи, в каналы, частные дома и загородные поместья, снабжала большое количество плавательных бассейнов, причем в самых засушливых центральных и южных областях Апеннин. Вода в Риме — это питье почти в каждый дом, это канализационные смывы, орошаемые сады, это общественные отхожие места, это общественные бани — термы. С трансфером воды в Древнем Риме было связано развитие растениеводства, виноградарства и животноводства в юго-восточных засушливых районах полуострова. Водоводы проектировались по принципам, заложенным еще архитектором Витрувием (80–70 гг. до н.э.). Они включали сложные системы подземных туннелей (90% всех

водоводов), акведуки, подземные ответвления, куда для ремонта попадали через специальные люки на каждые 200 м водогона. Сюда же относились промежуточные резервуары-кастелы глубиной в среднем до 10–11 метров для перетока и накопления воды общим объемом до 200 квинариев каждый, горизонтальные отстойники (наземные и подземные) для очистки питьевой воды, а также клоаки, или канализационные системы для отвода использованной воды.

В Римской империи насчитывалось не менее 140 акведуков. Общая протяженность акведуков измерялась сотнями километров, а подаваемые объемы впечатляли — 1,5 млн м³/сут. Скорость течения воды в акведукке допускалась не более 3,7 км/час. Дневная норма потребления воды на человека, например, в Риме, составляла 1,3 м³. Для сравнения, сегодня узаконенная норма подачи холодной воды составляет 0,157 м³/сут. [37].

Основные опасности, связанные с водоснабжением в Древнем Риме, исходили от таких факторов:

- разрушения акведуков вследствие дефектов в строительстве (входной сигнал в RNN — X_1);
- неконтролируемые течи в водоводах (X_2);
- разрушения поверхности водопровода от подземных толчков, землетрясений (X_3);
- обрушения потолков в туннелях в результате схода оползней с горных склонов (X_4);
- образования токсичных веществ при прохождении воды через свинцовые трубы водоводов (X_5);
- отложения извести, сужающие трубу и препятствующие водотоку (X_6);
- инфильтрация вредных газов, главным образом, серы, в местности, где ее добывали и были активные горячие, например, вулканические, серные источники (X_7);
- заиливания резервуаров, отстойников и необходимость их чистки (X_8).

Это далеко не полный список опасностей, которые преследовали римлян при эксплуатации таких сооружений. Подобные строительные системы, кроме подобных и известных опасностей

имели еще и целую гамму условий для высокой неопределенности входных сигналов, а также для входных сигналов в систему, в случае недостаточности информации о них. Например, активная тектоническая и вулканическая деятельность (X_9) на полуострове в изучаемый период (разрушение водоводов «Аугуста», Рим — Неаполь в 833 г. н.э.), критические загрязнения открытых искусственных водоемов в результате влияния климата Сахары (Y_1) (опесочивание акведуков «Юлия» в Риме и «Немос» в Южной Галлии в I в. н.э.), влияние малярийных болот (Y_2) на севере страны, применение ввозимых строительных материалов с токсичными компонентами (Y_3) и др.

Риски для людей, связанные с работой акведуков, выберем из наиболее упоминаемых в исторической литературе:

- риск для населения остаться без воды R_1 ;
- риск получить отравление и заболевание при употреблении воды R_2 .

В некоторых случаях длительное отсутствие воды в системах, гигиенически адаптированных на ее присутствие, могло привести к не менее опасным рискам в виде внезапных заболеваний, эпидемий и др. Выходные сигналы R_1 и R_2 для этих вариантов будут отличаться только как «1» и «0», несмотря на то, что отдельные из них или даже их групп могут принимать рискообразующее состояние, но по сравнению с другими — они менее опасны.

В свою очередь, на точность прогноза влияет большое количество информации, способное перегружать память нейронной сети. В предложенном случае мы рассматриваем варианты выборки из $X_{\text{вх}}=9$ объективно наблюдаемых и $Y_{\text{вх}}=4$ неопределенных или случайных входных событий, для каждого из которых принимаем, например, $n=100$ самых различных размеров состояний и по каждому состоянию допустим до $p=5$ вариантов прогнозируемых результатов (программный размер *inp. status*) и максимально до $s=100$ вариантов уточненных значений каждого из 16 весовых коэффициентов в процессе обучения, для показанных и других возможных событий. Всего это будет $9 \cdot 100 \cdot 5 \cdot 100 = 4,5 \cdot 10^5$ элементов в памяти сети. Поэтому использование для такого анализа

возможностей глубоких рекуррентных сетей с избирательным хранением информации внутри сети за счет специальных ее механизмов является весьма обоснованным.

Для анализа событийных рисков, связанных с эксплуатацией Римских водоводов, заложим в архитектуру глубокой рекуррентной сети *RNN* (рис. 8.9) рекомендуемые обратные связи типа *Deep Transition RNN (DT-RNN)* и *Staked RNN (S-RNN)*. Как показано ранее, в архитектуре *LSTM* (см. рис. 8.9, а), примененной в данной модели, блок умножения отвечает за «забывание» контента по правилу $f_{i3} = \sigma(m_{i3} \cdot [h_{i-1}x_i] + b_\sigma)$, а блок сложения — за «запоминание» нового контента по правилу $i_f = \sigma(m_{i3}[h_{i-1}x_i] + b_\sigma)$, а $x_{i\varphi} = \tanh(m_i^{3R}[[h_{i-1}x_i] + b_{i\varphi})$, так что выполняется тензорная процедура $R_{1,2} = i_f \otimes x_{i\varphi} = [1, 0]$. Функция гиперболического тангенса в следующем синапсе, по существу, нормирует один из выходных сигналов $R_{1,2}$ с оперативными векторами i_f и $x_{i\varphi}$ в том числе, и для обратной в *DT-RNN* связи.

Наша модель *RNN* снабжена тремя слоями активации — синапсами. Каждый из них отвечает за определенный порядок трансформации входных сигналов. Первый синапс позволяет фильтровать все конструктивно-технологические потенциальные опасности, связанные с эксплуатацией системы. В качестве функции активации f_{i1} нейронов первого синапса примем функцию *RelU (Rectified Linear Unit)*. Второй синапсный слой воспринимает только те входные сигналы, которые создают опасности, связанные с субъективными человеческими факторами. В качестве активационной функции f_{i2} примем функцию пороговую. Этот слой выдает собственный выходной сигнал, независимо от выходных сигналов первого синапсного слоя. Второй синапс включен в систему собственной обратной связи по принципу *S-RNN*. И третий синапсный слой отвечает за прохождение случайных возмущений и неопределенностей, которые способны разрушить систему вне зависимости от известных опасностей, поэтому он сформирован по принципу *DT-RNN*. Для него функция активации f_{i3} у каждого нейрона — это функция гиперболического тангенса.

Исходные $m_{ij}^{(j,j+1)}$ и корректировочные $\tilde{m}_{ij}^{(j,j+1)}$ весовые коэффициенты для каждого промежуточного нейронного слоя A^j представлены в табл. 8.20. История, как правило, оставляет мало информации о технических характеристиках объектов, которые составили ее славу. Так случилось и с системой водоводов в Древнем Риме — данных о случаях выхода из строя, а тем более, заражения людей, связанного с водой, в известных литературных источниках почти не сохранилось. Поэтому, при создании модели RNN для такой системы мы воспользовались экспертными оценками отдельных специалистов в этой области и представили исходную шкалу весовых коэффициентов $m_{i0}^{(01)}$ в виде вероятности тех или иных событий (см. табл. 8.20). Это оправдано хотя бы потому, что, как уже было показано выше, такие коэффициенты при обучении получают бинарное значение и далее принимают участие в прогнозировании на общих основаниях. А возможные неопределенности и искажения в виде экспертных оценок уточняются в процессе обучения сети.

Каждый предыдущий рекуррентный слой в такой RNN на выходе получает сигналы не по принципу *many to many*, как это было в предыдущих иллюстрациях, а по принципу *many to one*, т.е. он каждый раз в несколько тактов осуществляет рекурсию, в рамках избранных архитектур, со всеми своими скрытыми выходами. Но в результате выдается только один выход для всей RNN , который определяет решение задачи о собственно факте реализации рискообразующего события. То есть нейронная сеть на основе обучающей выборки формирует набор зависимостей следующего элемента от вектора всего текущего состояния только по одному конкретному прогнозируемому результату.

Ограничением здесь, как упоминалось ранее, является объем необходимой для хранения информации (т.е. загроуженность весовых коэффициентов, отвечающих за память RNN). В этом случае предлагается воспользоваться возможностями так называемых $LSTM$ -сетей.

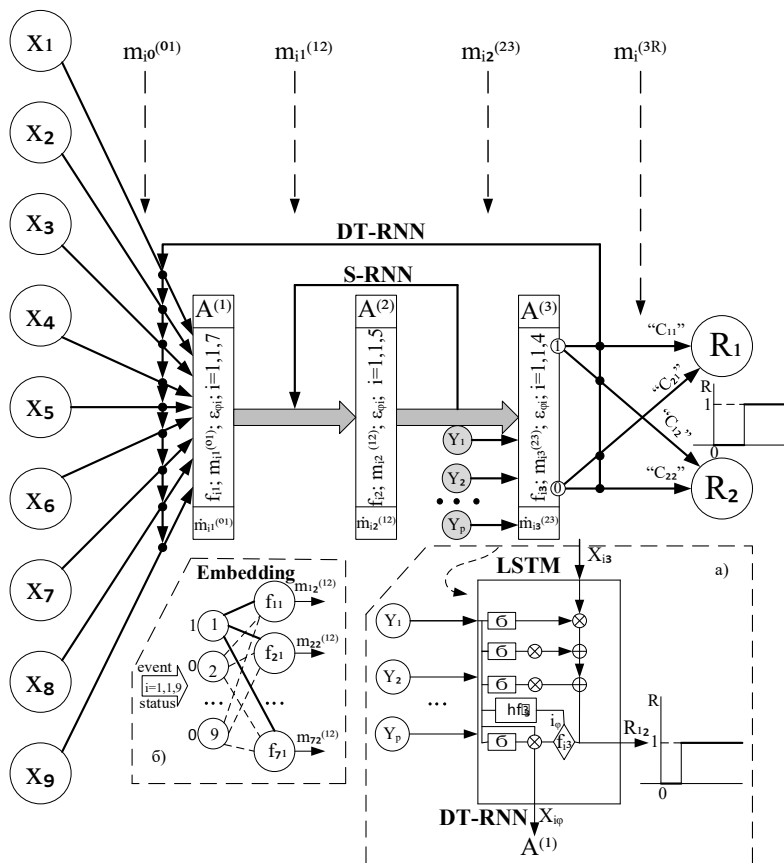
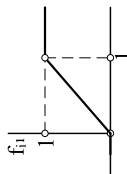
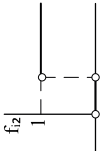
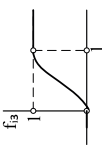


Рис. 8.9 — Глубокая рекуррентная нейронная сеть *RNN* для оценки событийных рисков, связанных с эксплуатацией систем водоснабжения в Древнем Риме. Здесь: а) модель *LSTM* (*long short-term memory*); б) модель *Embedding-синапса*

Таблица 8.20 — Исходные и уточненные в процессе «*back propagation*» расчетные значения весовых коэффициентов для каждого слоя активации в модели *RNN* для системы водоснабжения городов Древнего Рима

№ п/п	Входной сигнал	Номер синапса	Исходные значения весовых коэффициентов		Значения весовых коэффициентов в процессе « <i>back propagation</i> »	
			$m_{i0}^{(01)*}$	$\varepsilon_{\varphi i}$	$m_{i0}^{(01)}$	$\varepsilon_{\varphi i}$
1	x_1	-	0,25	0,05	0,0001**	0,0901***
2	x_2	-	0,75	0,05	1	0,0115
3	x_3	-	0,13	0,05	1	0,0404
4	x_4	-	0,45	0,05	1	0,0459
5	x_5	-	0,85	0,05	0,0001	0,0251
6	x_6	-	0,85	0,05	1	0,0213
7	x_7	-	0,33	0,05	0,0001	0,1741
8	x_8	-	0,88	0,05	1	0,4771
9	x_9	-	0,09	0,05	0,0001	0,1109
10	-	$A^{(1)}$	-	-	0,0001	0,0311
11	-	$A^{(1)}$	-	-	1	0,0354
12	-	$A^{(1)}$	-	-	1	0,0275
13	-	$A^{(1)}$	-	-	1	0,0465
14	-	$A^{(1)}$	-	-	0,0001	0,0511
15	-	$A^{(1)}$	-	-	0,0001	0,0124
16	-	$A^{(1)}$	-	-	1	0,0324
Функция активации f_{i1} <i>ReLU</i>						



№ п/п	Входной сигнал	Номер синапса	Исходные значения весовых коэффициентов		Значения весовых коэффициентов в процессе «back propagation»		
			$m_{10}^{(01)*}$	$\varepsilon \varphi i$	$\dot{m}_{10}^{(01)}$	$\varepsilon \varphi i$	
17	-	$A^{(2)}$	-	-	1	0,0418	Функция активации f_{i2} (пороговая) 
18	-	$A^{(2)}$	-	-	0,0001	0,0387	
19	-	$A^{(2)}$	-	-	1	0,0255	
20	-	$A^{(2)}$	-	-	0,0001	0,0332	
21	-	$A^{(2)}$	-	-	0,0001	0,0345	
22	y_1	$A^{(3)}$	0,55	0,045	0,0001	0,0441	Функция активации f_{i3} (гиперболический тангенс) 
23	y_2	$A^{(3)}$	0,45	0,03	1	0,0147	
24	y_3	$A^{(3)}$	0,15	0,05	0,0001	0,0694	
25	y_4	$A^{(3)}$	0,69	0,04	0,0001	0,0331	

* — обработка и оценочные результаты по данным работ [13, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 30, 32, 33, 35, 36];

** — значения $\dot{m}_{10}^{(01)} = 0,0001 \sim 0$ для удобства пользования программным продуктом;

*** — поисковая ошибка сети превышает заданное значение.

Если все события и их состояния выстроить в виде матрицы (i, k) , то каждый вектор этой матрицы может быть обозначен последовательно, как это представлено в табл. 8.21. Каждому варианту системы соответствует не само событие или его текущее состояние, а кодовый знак из девяти символов «0» или «1», соответствующий самому событию или его состоянию. Тогда на выходе системы можно также получать обобщенный бинарный вектор: $R_1=1$ или $R_1=0$ и аналогично $R_2=1$ или $R_2=0$. Такая унификация способствует упорядочению, прежде всего памяти синапса в виде уточненных промежуточных весовых коэффициентов $\dot{m}_{ij}^{(j+1,i+1)}$ для каждого i -го нейрона в каждом j -м синапсе. Такую операцию экономии памяти при хранении обучающей выборки в программах *keras* выполняет так называемый *Embedding*-слой в котором ответом на кодифицированный вход из единиц и нулей является набор весовых коэффициентов для каждого промежуточного синапса (см. рис. 8.9, б). В *keras* такой синапс можно создать при помощи одноименного класса программы *keras.layer.Embedding(input_event_output_event,...,input_status_output_status)*. Здесь последовательно обозначены:

- память о числе событий (*input_event*) и их состояний *input_status*;
- число выходных весовых коэффициентов $\dot{m}_{i2}^{(23)}$ в синапсе;
- размер исходного вектора для прогнозирования состояний на выходе синапса, соответственно.

Таким образом, мы оперируем на входе каждого скрытого синапса не набором векторов, а имеем дело с набором чисел, но при этом выход синапса (и аналогично — выход всей системы (R_1 или R_2)) будет выражаться в векторной форме, что весьма удобно для анализа результатов.

Исходные данные для работы *RNN* представлены в таблице 8.22. Таблица соответствия учетных состояний событийных классов (табл. 8.23) показывает единственно верное решение из возможных в двоичной системе координат выходных сигналов.

Таблица 8.21 — Кодификация основных и случайных входных сигналов и их уточненные в процессе обучения весовые коэффициенты в модели системы водоснабжения Апеннинского полуострова на пересечении старого и нового летоисчислений (форма кода определена максимальным размером строки обозначения входного сигнала)

Входной сигнал, X_i	Код входа размерности $k=0...9$	$\tilde{m}_{i0}^{(01)}$	Обозначение входного сигнала
X_1	1,0,0,0,0,0,0,0	0,0001*	разрушение акведуков от дефектов в строительстве
X_2	0,1,0,0,0,0,0,0	1	неконтролируемые течи в водоводах
X_3	0,0,1,0,0,0,0,0	1	разрушение поверхности водовода от подземных толчков
X_4	0,0,0,1,0,0,0,0	1	обрушение потолков в туннелях в результате схода оползней
X_5	0,0,0,0,1,0,0,0	0,0001	токсичные вещества при прохождении воды через свинцовые трубы водоводов
X_6	0,0,0,0,0,1,0,0	1	отложение извести, сужающие трубу и препятствующие водотоку
X_7	0,0,0,0,0,0,1,0	0,0001	инфильтрации вредных газов в воду
X_8	0,0,0,0,0,0,0,1	1	заиливание резервуаров, отстойников и необходимость их чистки
X_9	0,0,0,0,0,0,0,1	0,0001	активная вулканическая деятельность
Y_1	0,1,1,0,0,0,0,0**	1	критические загрязнение открытых систем влиянием климата Сахары
Y_2	0,0,0,1,1,0,0,0	0,0001	влияние малых болот на севере полуострова
Y_3	0,0,0,0,1,1,0,0	0,0001	применение строительных материалов с токсичными компонентами
Y_4	0,0,0,0,0,0,1,1	1	

* — значения $\tilde{m}_{i0}^{(01)} = 0,0001 \sim 0$ для удобства пользования программным продуктом;

** — кодификация как основных, так и случайных входных сигналов осуществляется исходя из общей размерности обозначения входных сигналов, как основных составляющих тензорной матрицы сигналов.

Таблица 8.22 — Исходные нормативные параметры для расчета RNN заданной архитектуры для условий прогнозирования рисков при работе системы водоводов в Древнем Риме

Логическое описание класса выходных рискообразующих событий	R_1		R_2	
	Класс C_{11} (истина)	Класс C_{12} (ложь)	Класс C_{21} (истина)	Класс C_{22} (ложь)
Нормативные показатели для программ «back propagation»				
Число заданных образов для каж- дого класса	$N=5$			
Порог активации	$h=4,0$			
Параметр смещения линии разде- ления	$b=3$			
Параметр ожидаемого результата	$D=4$			
Шаг сходимости алгоритма “back propagation”	$\lambda=0,2$			
Заданная поисковая ошибка сети	$\varepsilon=0,05$			
Нормативные показатели для программ модели RNN в библиотеке <i>keras</i>				
коэффициент смещения для функ- ции $ReLU$	$b_{\sigma}=3$			
коэффициент смещения для ги- перболического тангенса	$b_{i\phi}=1$			
число объективных событий	$X_{\text{вх}}=9$			
Число случайных событий	$y_{\text{вх}}=4$			
число нейронов в RNN -синапсах	$A^{(1)}+A^{(2)}+A^{(3)}=7+5+4=16$			
Выбранный максимальный раз- мер числа состояний для одного события	$n=100$			
Число прогнозируемых результа- тов состояний события (<i>inp. status</i>)	$p=5$			

Логическое описание класса выходных рискообразующих событий	R_1		R_2	
	Класс C_{11} (истина)	Класс C_{12} (ложь)	Класс C_{21} (истина)	Класс C_{22} (ложь)
Варианты уточненных значений весовых коэффициентов	$s=1000$			
Число выходных весовых коэффициентов в синапсе	$m_{ij}^{(j,j+1)}=16$			

* — заполняются в процессе «обучения» нейронной сети.

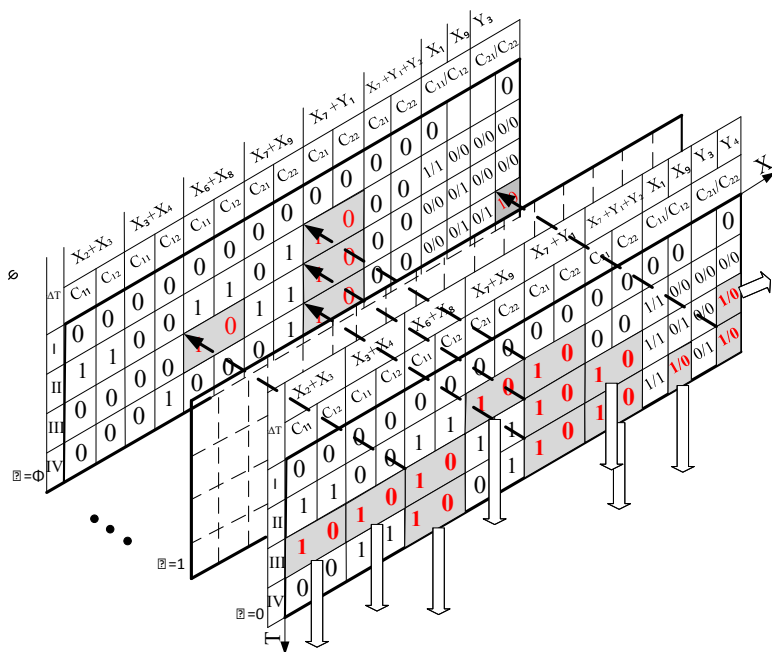


Рис. 8.10 — Матрица потенциальных и фактических рисков, связанных с эксплуатацией системы водоснабжения в Древнем Риме в различные временные отрезки:

- I — 500–100 лет до PX ;
- II — 100 лет до PX — 00 г. PX ;
- III — 00 г. от PX — 79 г. от PX ;
- IV — 79 г. от PX — 476 г. от PX .

Таблица 8.23 — Учетные состояния событийных классов в модели *RNN* для анализа событийных рисков в системе водоснабжения Древнего Рима

№ п/п	Класс событий		Распознавание событийных образов
	« C_1 » (истина)	« C_2 » (ложь)	
1	1	1	Условий для подтверждения события нет
2	1	0	Условия для подтверждения события есть
3	0	1	Условий для подтверждения события нет
4	0	0	Условий для подтверждения события нет

Реализация методики использования глубоких рекуррентных сетей для прогнозирования рисков в условиях неопределенности входных сигналов на примере системы водоснабжения на Апеннинском полуострове на пересечении старого и нового летоисчисления представлена на рис. 8.10.

Отличительной особенностью таких моделей является их одновременная взаимная связь отдельных событий в системе оценки рисков (табл. 8.24), когда в системе одновременно могут происходить несколько рискообразующих событий, каждое из которых, а также отдельные их группы в совокупности дают ряд результатов в виде «парада» рисков, каждый из них также оценивается как по отдельности, так и взаимосвязанно. Но при этом всегда существуют приоритетные события с точки зрения их опасностей. Например, для модели рисков в системе водоснабжения Древнего Рима мы выделяем два вида рисков — риск остаться на некоторое время без воды (R_1) и риск отравления загрязненной водой (R_2), в том числе, отравления массового. Очевидно, что вторая группа рисков может показаться преобладающей как опасность для населения. Но в случае, когда продолжительность «безводного» существования становится необоснованно большой, это, в свою очередь, может привести к не менее опасным

инфекционным и другим массовым заболеваниями. Но это уже будет другой вариант работы модели *RNN* и другая система ее обучения.

Таблица 8.24 — Показатели взаимной связи отдельных событий в системе оценки рисков для водоснабжения Древнего Рима

№ п/п	Входной сигнал	Описание многособытийных сигналов в системе	Весовой коэффициент
1	X_1	Разрушения от строительных дефектов	0,25
2	$X_2 + X_3$	Неконтролируемые течи, как результат сдвигов земной коры	0,33 + 0,45
3	$X_3 + X_4$	Разрушения, как результат сдвигов земной коры	0,13 + 0,45
4	$X_6 + X_8$	Заиливание и отложение извести в водоводах и водоемах	0,85 + 0,88
5	$X_7 + X_9$	Вулканическая деятельность и инфильтрация вредных газов в воду	0,09 + 0,33
6	$X_7 + Y$	Поступление пыли от Сахары и инфильтрация вредных газов	0,88 + 0,55
7	$X_7 + Y_1 + Y_2$	Пыль, малярийные болота и инфильтрация газов	0,88 + 0,55 + + 0,45
8	X_9	Активная вулканическая деятельность	0,09
9	Y_3	Строительные материалы с токсичными компонентами	0,15
10	Y_4	Варварские разрушения в результате военных действий	0,69

Второй этап работы с моделью *RNN*, включает подачу на вход третьего синапса ($A^{(3)}$) только сигналов событий (Y_p) вошедших как приоритетные в системе (рис. 8.9, а). Такие сигналы являются случайными и, часто, неопределенными, что затрудняет их

обработку в моделях прямого распространения. В этом случае воспользуемся возможностями *LSTM*. При этом надо помнить, что на этом этапе существует обратная связь типа *DT-RNN* которая позволяет синхронизировать входные сигналы исходной группы событий ($X_1, \dots, X_9$) и случайные состояния этих событий (Y_p). При этом, в качестве функции активации третьего синапсного слоя, отвечающего за такие случайные составляющие в модели принимается гиперболический тангенс. Тогда на выходе всей системы получаем уточненные сигналы R_1 и R_2 , но относящиеся уже к группам превалирующих рискообразующих событий.

Таким образом, модель *RNN* с двойной обратной связью, соответственно *S-RNN* и *DT-RNN* и механизмом *LSTM* осуществляет двойную фильтрацию каждого из входных сигналов и сопоставляет их или группы, состоящие из них, на предмет неопределенности. Результат такого расчета — определение приоритетных рисков для каждого заданного временного интервала существования системы.

Следующий этап работы модели включает выявление неактуальных входных сигналов на этапе действия обратных связей в модели *RNN* и формирование нового пакета входных сигналов $X_{\text{вх}i}^\varphi$ для модели на φ -м этапе рекурсии по правилу

$$X_{\text{вх}i}^\varphi = X_{\text{вх}i}^{\varphi-1} - [X_{\text{вх}i}^{\varphi-1}(0,0) + X_{\text{вх}i}^{\varphi-1}(0,1) + X_{\text{вх}i}^{\varphi-1}(1,1)],$$

где $X_{\text{вх}i}^{\varphi-1}$ — входные сигналы на предыдущем $(\varphi - 1)$ -м шаге рекурсии; индексы (0,0), (0,1), (1,1) — обозначают отсутствие учетных состояний для конкретных событийных классов в модели *RNN* (см. табл. 4).

Далее алгоритм предусматривает процедуру обучения новой *RNN* и уточнение новых весовых коэффициентов $\ddot{m}_{ji}$ для каждого j -го слоя нейронов из числа скрытых синапсов и определение максимально возможного их значения для выходных сигналов на φ -м этапе рекурсии.

Таким образом, на каждом последующем φ -м шаге происходит конкретизация рискообразующих событий в каждом временном интервале ΔT из рассматриваемых (см. рис. 8.10).

Итог такого анализа следующий.

Для исследуемой модели системы водоснабжения городов Древнего Рима в период его республиканско-императорского правления выделим следующие наиболее актуальные риски, которые могут приводить к задержкам в подаче воды (риск R_1) и массовым отравлениям от потребляемой воды (риск R_2).

Наиболее реальными из всех рискообразующих являются события $X_2, X_3, X_4, X_6, X_7, X, Y_1, Y_4$, причем почти все они проявляют себя не самостоятельно, а только в парной совокупности с другими событиями. Такое сопряжение не часто встречается в событийных рисках и свидетельствует только о значительной природной связи всех указанных выше явлений, о чем можно судить по данным таблицы 8.24.

1. На протяжении, примерно, до столетнего периода до PX сколь-нибудь объективных данных о состоянии водоподготовки в исторических источниках не обнаружено.

2. В начальный из обозримых периодов до Рождества Христова водоводы Древней Римской империи представляли опасность в виде рисков, связанных с потреблением загазованной или загрязненной воды ($X_7 + X_9$) и ($X_7 + Y_1$). Модель RNN , через несколько шагов рекурсии, в конечном результате, ориентирует нас на преобладание рисков, связанных с двумя событийными факторами: инфильтрацией вредных газов из подземных источников и периодической загрязненностью открытых водоемов заморской пылью (пустыня Сахара).

3. В последующие временные отрезки (см. рис. 8.10) очевидными стали опасности и риски в водоподготовке, связанные с разрушениями подземных частей акведуков ($X_2 + X$), появлением течей и потерей воды ($X_3 + X_4$), заливанием и забиванием трубопроводов известью ($X_6 + X_8$). При этом не исключались рискообразующие события, связанные с загазованностью и запыленностью воды ($X_7 + Y_1$), а также влиянием малярийных болот на севере полуострова. Однако, пошаговый методический расчет для модели RNN показывает, что и в этот временной период наиболее актуальными остаются риски, связанные с событиями ($X_7 + Y_1$).

4. В целом, для каждого из трех последних из рассматриваемых временных периодов основные риски R_1 и R_2 связаны с инфильтрацией газов (в основном серы) и пылевым загрязнением водоемов ($X_7 + Y_1$). Но, кроме того, в наше летоисчисление опасными рискообразующими событиями стали отложение извести в водоводах и необходимость их постоянного очищения и заиливание накопительных и очистных водоемов ($X_6 + X_8$), а также участвовавшие разрушительные войны на полуострове (Y_4).

Чтобы оценить содержательность применяемых методов оценки риска при помощи теории логики и нейронных сетей NN , вернемся еще раз к предложенному определению понятия «риск», полученного как производная от временной трактовки событий, их энергетической и субъективной сущности. Согласно определению, риск — это *бинарное отображение субъективной ожидаемости события на границе неопределенности, в основе которой лежат временные и энтропийные изменения в направлении к его определенному состоянию*.

События риска, или их последовательность, как субъективная ожидаемость риска, являются результатом реакции человеческого мозга на возможные последствия от этих событий. Даже, когда эти последствия во времени еще не наступили. Мозг человека в когнитивном содержании способен воспринимать не только то, что он видит, но и то, что он может домысливать, восстанавливать языком воображения в процессе обработки информации. Такая сложная мыслительная деятельность вряд ли возможна без помощи механизмов взаимодействия биологических нейронов, подобных человеческому мозгу. Объективность таких процедур объединения или последовательного анализа подтверждается изменениями в энергетических процессах, без которых ни одно внешнее событие не существует.

С таких позиций определять воображаемые процессы в головном мозге при помощи теории вероятности и методами апосте-

приорной математической статистики, на основании уже когда-то происшедших событий, было бы не совсем верным.

Модель искусственного нейрона, разработанная Ф. Розенблатом в 1958 году в виде однослойного перцептрона, долгое время имевшая узкоспециализированное назначение в нейробиологии и не находившая себе иного участия, сегодня применяется в самых неожиданных областях знаний и практики, от экономики и технологий, до систем социального управления. Ее эффективность базируется на аналоговом языке сопоставлений, при помощи которого описываются процессы, в которых принимает участие мозг человека, как генератор результата. К таким областям применения относится и рискология, в той ее части, в которой она связана с человеко-машинной системой. Показанные выше примеры подтверждают возможности оценки рисков с точки зрения их внешней событийности, как фактического материала, на котором они базируются, при помощи моделей *NN*. Эти модели становятся удобными тем, что примиряют факторы объективности временных событий, их энергетики с субъективной деятельностью человеческого мозга.

Вторым преимуществом таких методов является их объектно многообразная распространенность. Она основана совпадении процессов избирательности человеческого мозга и максимальных возможностей модели *NN*, способной перебором вариантов выбрать требуемый, в зависимости от проведенного обучения такой сети. Поэтому существует уверенность в том, что они найдут себе применение в практической деятельности.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОБЫТИЙНЫХ РИСКОВ

9.1. Специфика оценки рисков в проект-менеджменте

Любопытные результаты дает предложенная методика при решении достаточно популярной задачи о минимизации рисков, связанных с разработкой самых различных проектов. Это задачи так называемых проект-менеджеров, каждый из которых часто интуитивно пытается решать подобную задачу в привязке к тем конкретным проектам, в которых он участвует. Управление рисками в проекте — это одна из наиболее существенных сторон проект-менеджмента. Она включает огромную часть работ, связанных не только с безопасностью собственно проекта, но и его реализацией в будущем. Это поиск, оценка и профилактика большей части потенциальных проблем, с которыми встречаются разработчики. Причем, этот процесс является системным, потому что одних очевидных и превентивных действий, как правило, недостаточно. Управление рисками позволяет не только сохранить проект для последующей его реализации, но и влияет на его ресурсы, материальные, трудовые, информационные, временные, делает проект более эффективным.

Конкретизация условий задачи позволяет избегать многих ошибок, но при этом снижается систематичность анализа и теряются наиболее простые решения, позволяющие избежать негативных событий, связанных с осуществлением таких проектов. Тем более, что многие ошибки, риски которых были неочевидны в период проектирования, проявляются во время реализации проекта в его прикладном значении. Одна из причин заключается в отсутствии механизмов обобщения причин появления рисков, их узкой направленности и потере системности.

В проект-менеджменте, как ни в какой другой области прогнозирования, важную роль играет субъективный человеческий фактор, который часто превалирует над фактором чисто техническим или другими объективными причинами. Поэтому риски, связанные с проект-менеджментом, как правило, появляются по вине либо заказчика, либо исполнителя. Как итог, риск тех или иных действий трудно запрограммировать, он неустойчив и подлежит, возможно, только субъективной оценке.

Насколько это является актуальным, показывает опыт строительства трех энергоблоков АЭС Олкилуото (Финляндия), в котором еще на стадии проектирования были заложены реальные риски последующих аварий, коими прославилась эта станция. Среди причин, вызвавших последующие аварии, в терминах, принятых в данной работе — недостаточный опыт при проектировании таких объектов у компании Areva, слабая подготовленность персонала, затянувшиеся сроки выполнения проекта из-за неточности и недостаточности исходных данных, последующие проблемы с исправлением проектных ошибок, слабая коммуникация с заказчиком STUK (Центр радиационной безопасности Финляндии — регулятор проекта) по поводу качества инфраструктуры, отсутствие качественных форм контроля со стороны регулятора. Как результат — перед строительством проект был готов только на четверть, вынужденный неоправданный рост стоимости заказа представлен в 3–3,5 раза. Регулятором было обнаружено более 700 нарушений правил техники безопасности еще на стадии проектирования. Своевременный учет рисков на стадии проект-менеджмента позволил бы сохранить правительству страны более \$8 млрд [1].

Одним из эффективных способов поиска рисков в системе проект-менеджмента является мозговой штурм, в котором принимают участие основные заинтересованные игроки проекта. Другим, не менее эффективным способом поиска потенциальных рисков является работа с диаграммами Исикавы, одним из направлений которых как раз и является поиск причинно-следственных связей, позволяющих находить «хребтовые» узкие

места в системе. Важной формой является планирование рисков и предупредительных действий по их минимизации.

Большинство таких способов, которыми часто пользуются проект-менеджеры, являются эмпиричными, направленными на несистемное решение проблемы, которая как правило, является однозначной и дает право на ошибку в самом начале проекта.

Нейронные сети прямого распространения позволяют формализовать собственно поиск рисков, в особенности *единой точки отказа*, то есть такого риска, который приводил бы к полному отказу от проекта, какова бы ни была его сущность. При умелой настройке сети, то есть ее обучении, она может выдавать требуемый результат в процессе всей работы над проектом. Для этого необходимо тщательно соблюдать состояние корректировки весовых коэффициентов в системе входных сигналов, периодически настраивая нейронную сеть на нужный режим работы.

Применение глубоких нейронных сетей прямого распространения с наперед заданными функциями активации (рис. 9.1 а, б, в, г) могут не привести к результату только в одном случае — из-за потери работоспособности отдельных нейронов, или их отмирания в сети, и нарушения работы всей системы прогнозирования, связанной с тем, что система может входить в область данных, где она не обучена. В особенности это касается достоверности входной информации. В этом случае появляется неопределенность, которая, как правило, не может быть характерной для механизмов работы нейрона. Именно такими данными может являться субъективная информация, которая вносится в проект как заказчиком, так и исполнителем.

С целью минимизации потерь, связанных с отсутствием учета субъективных факторов, предлагается использовать в качестве функции активации зависимости бифуркационного характера (см. рис. 9.1, д), проявляемые, как удвоение учетного периода за счет неопределенности интервала $0 \leq x \leq \alpha (=1)$ для функции $f(x)$ в интерпретации *ReLU* [2, 3, 4] (см. рис. 9.1, г). Здесь функция имеет минимаксный характер, то есть $f(x) = \min \max(0, x)$. Функция *ReLU* с минимаксным периодом раньше не рассматривалась

в литературе, как не перспективная в нейросетях. Попробуем применить ее именно для анализа рисков в проект-менеджменте.

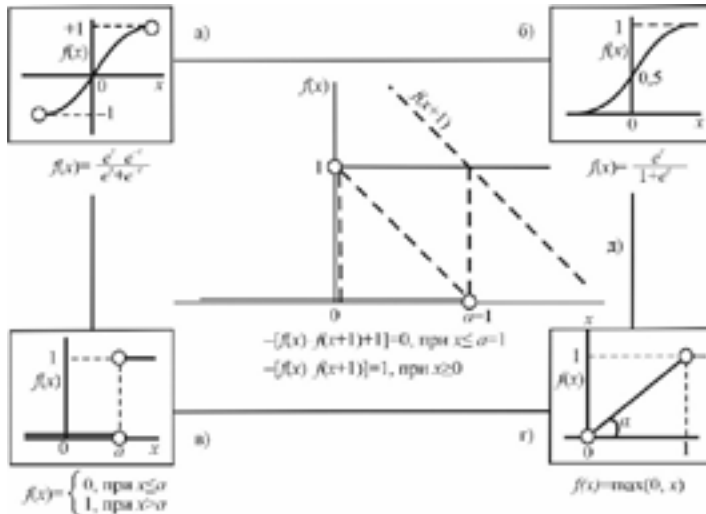


Рис. 9.1 — Варианты функции активации в нейронах сети *NN*, направленной на решение задачи минимизации риск-менеджмента при выполнении проектных заданий от заказчика: а) функция гиперболического тангенса; б) логистическая функция; в) пороговая функция активации; г) функция *ReLU* (Rectified Linear Unit); д) функция активации с бифуркационным содержанием

В задачах подобного уровня предлагается применить в качестве активационной функции для всех слоев активации, как возможную, функцию бифуркации типа

$$\begin{cases} -[f(x) - f(x+1) + 1] = 0, & \text{если } x \leq a \\ -[f(x) - f(x+1)] = 1, & \text{если } x \geq 0 \end{cases} \quad (9.1)$$

Она легко просчитывается в *ReLU* по общему правилу:

$$\begin{aligned} y &= -[-1 - (-1 + 1)] = +1, & \text{при } x = -1 \\ y &= -[0 - (0 + 1)] = +1, & \text{при } x = 0 \\ y &= -[-1 - (-1 + 1) + 1] = 0, & \text{при } x = -1 \\ y &= -[0 - (0 + 1) + 1] = 0, & \text{при } x = 0 \end{aligned}$$

Двойное или неопределенное значение функции активации (см. рис. 9.1, д) безусловно затруднит обучение нейронов и процедуру корректировки весовых коэффициентов. Зато применение *ReLU* имеет свои преимущества: функция быстро вычисляется, расчет почти не теряет в точности, легко определяется производная на всем интервале, кроме 0. Кроме того, при помощи функции $f(x) \rightarrow f(x + 1)$ легко получать другие функции, например, логистическую (сдвигом графика на $\frac{1}{2}$ влево), гиперболический тангенс (расширением функции *ReLU* в два раза по оси ординат). Можно получить пороговую функцию, если в активационной функции $f(x) = k \cdot \max(0, x)$ появляется угловой коэффициент, например, $k=1$ ($\alpha=45^\circ$), или $k=0,41$ ($\alpha=22,5^\circ$) и, наконец $k=\infty$ ($\alpha \rightarrow 90^\circ$). И даже, как показано выше, можно отобразить бифуркационную неопределенность изменением вида (9.1). Только для всех этих вычислений требуется не одна активационная функция, а две: $f(x)$ и $f(x + 1)$, разделенные одним итерационным шагом.

Важным моментом при решении подобных задач является правильная идентификация риска. В задаче о проектных рисках выходным сигналом можно выбирать единственную радикальную парадигму — невыполнение проекта, в некоторых аналогичных вариантах.

Поэтому, все контролируемые входные предикаты должны иметь предельные значения, чтобы быть ориентированными на итоговое неисполнение проекта. Этим такая задача имеет похожесть на задачу о минимаксных решениях. То есть выход системы может содержать образы или с минимальными характеристиками, или, наоборот, с максимальными параметрами. Например, минимальный положительный результат. Или максимальный отрицательный результат. Это схоже с поиском экстремума энергетической функции нейрона в нейронных сетях с обратными связями. Если результат в виде энергетической функции принимает минимальное значение, значит это соответствует невыполнению проекта.

Однако, каждый входной предикат в такой сети привносит свою долю риска, которую можно также исследовать на предмет

конечного результата. Например, заказчик ставит жесткую задачу соблюдения сроков завершения проекта. Тогда этот сигнал становится решающим, как выходной, и риск его невыполнения становится главным риском системы. В свою очередь, заказчик во время работы может внести существенные замечания в техническом задании, чем, зачастую, конфликтно перенести сроки выполнения проекта.

Таким образом, появляется понятие рискового сценария. Учет всех рисковых сценариев означает полный контроль за всеми событиями, которые сопровождают проект от стадии его зарождения до его окончания и передачи заказчику.

Рисковые сценарии относятся как к заказчику, так и к коллективу исполнителей. Такой сценарий состоит тоже из последовательности событий (образов) или высказываний.

Событийный риск в проект-менеджменте относится к несколько общепринятым образам, которые отображают прогноз будущего результата — успешной сдачи проекта заказчику. Наиболее традиционные ошибки при этом, например:

- задержка сроков выполнения проекта;
- перерасход средств на создание проекта;
- известные ошибки, которые выявляются после окончания проекта, на стадии его привязки и др. могут легко исправляться в процессе создания проекта либо принимаются как издержки проектирования.

Но существует многочисленная группа рисков незавершения проекта в полном объеме или в заданные сроки, или нужного качества, в которых заложены ошибки несистемного характера, влияние которых можно исключить и перед началом проектирования, и в процессе проектирования, таким образом, минимизировать риск их влияния на конечный результат работы.

Подобные риски можно вербализовать чисто интуитивными методами, на основании опыта проект-менеджера, но это не исключает их существования и негативного влияния на конечный результат. Тем более, что скрытые факторы риска могут быть искажены с утерей контроля над ними.

Оптимальный вариант состоит в определении системных факторов, которые можно сформулировать в виде высказываний и управлять процессами накопления рисков уже при помощи таких формализованных событий или их образов (табл. 9.1). За каждым подобным обобщающим высказыванием должна стоять подробность и понятийная синонимическая расшифровка этого обобщения, понятная пользователю, независимо от того, какой проект оценивается: в области *IT*-проектирования, конструкторских разработок или проект-идей. По-видимому, таких обобщающих высказываний или предикатов должно быть немного. В свою очередь, их небольшое количество позволит решать подобные задачи единым унифицированным методом, который может иметь развитие и продолжение в других разработках.

В дальнейшем, для реализации модели нейронной сети прямого действия для задачи прогнозирования рисков в проект-менеджменте, мы воспользуемся возможностями открытой библиотеки программ с надстройкой *Keras*, интерфейс которой, например, на *TensorFlow* в модульном варианте можно получать с использованием языка *Python* для работы с глубинными нейронными сетями прямого действия [5].

Для реализации программ *Keras* необходимо:

- описать архитектуру сети;
- описать входные значения;
- описать условия обучения (compilation); нужно указать, какой метод оптимизации будет использован, какой критерий качества выбран (сумма квадратов ошибок);
- обучить; метод градиентного спуска;
- оценить качество модели;
- применить.

Архитектура сети предусматривает 10 нейронов скрытых внутренних слоев (рис. 9.2). Они собраны в четыре слоя. Входных сигналов всего 11 (см. табл. 9.1). В качестве выхода системы примем следующие образы (коды риска):

- y_1 — «риск отсутствия готового проекта»;
- y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта»;

– y_3 — «риск невыполнения требований заказчика»,
которые отображают некоторую последовательность событий,
приводящих к:

- невыполнению проекта в целом;
- выполнению проекта не в указанные сроки;
- отказу заказчика принять готовый проект.

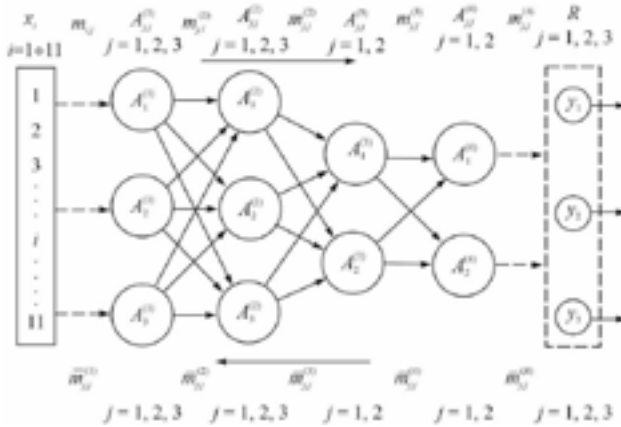


Рис. 9.2 — Архитектура нейронной сети для прогнозирования рисков в обобщенной системе проект-менеджмента

Последнее может считаться *единой точкой отказа* для всего проекта, то есть, точкой, после которой проект становится ненужным. Допускать риски, связанные с единой точкой отказа, а их может быть несколько, категорически невозможно.

Архитектура предусматривает последовательные четыре слоя активации, причем, если первые два слоя предназначены для широкополосной фильтрации большого количества входных сигналов и содержат по три полносвязных нейрона, то следующие два активационных слоя поддерживают только выделенные сигналы об образных событиях. Таким образом, модель позволяет при условии локального обучения достигать быстрого отображения конечного результата. Учитывая, что модель содержит три равнозначных для анализа выхода, важным моментом анализа

является внутреннее сопоставление каждого из трех результатов с последующим выделением того из них, который представляет наиболее актуальный риск для выполнения задания.

Система входных сигналов представлена в табл. 9.1. Здесь **внутренний риск** связан с результатами собственно процесса создания проектного продукта коллективом исполнителей. **Внешний риск** — это результат влияния заказчика проекта и других условий, не зависящих от исполнителя.

Таблица 9.1 — Систематизация факторов, влияющих на рискообразование при планировании и осуществлении проектов

№ п/п	Порядковый номер сигнала, i	Наименование высказывания	Входной сигнал, (предикат) x_i
1. Факторы внутреннего риска			
1	1.1	Непрогнозируемое увеличение объема работ по проекту	x_{11}
2	1.2	Низкая производительность	x_{12}
3	1.3	Высокие затраты на реализацию проекта	x_{13}
4	1.4	Временной дефицит при создании проекта	x_{14}
5	1.5	Дефицит ресурсов для осуществления проекта	x_{15}
6	1.6	Необоснованный отход от плана создания проекта	x_{16}
7	1.7	Изменения в рабочих процессах при создании проекта	x_{17}
8	1.8	Отсутствие или недостаток конкретных условий для реализации проекта	x_{18}
2. Факторы внешнего риска			
9	2.1	Результат произвольного влияния заказчика проекта	x_{21}
10	2.2	Изменение требований к проекту	x_{22}
11	2.3	Отсутствие внешних условий для работы коллектива	x_{23}

Каждое из указанных высказываний может быть развернуто в свою систему более конкретных причин, в зависимости от того, какую задачу предстоит решать при прогнозировании рисков. Дадим расшифровку некоторых обобщенных предикатов, например:

x_{11} — «Непрогнозируемое увеличение объема работ по проекту»:

- 11–1. Изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач.
- 11–2. Переделка отдельных объектов проекта. Вынужденное увеличение специалистов в коллективе.
- 11–3. Брошенные незавершенные или удвоенные задачи.
- 11–4. Неточности в исходной документации. Повторение одних и тех же вопросов.
- 11–5. Отсутствие хороших контрольных показателей для их использования.
- 11–6. Отказ от первоначального проекта. Изменение требований к частям проекта.

x_{12} — «Низкая производительность»:

- 12–1. Недостаточная загруженность или наоборот — перегруженность отдельных членов коллектива.
- 12–2. Некачественная исходная документация.
- 12–3. Мотивация участников проекта. Спонтанные действия по демотивации коллектива.
- 12–4. Недостаточная коммуникация с заказчиком.
- 12–5. Недостаточная компетентность или недостаточные узкие знания у отдельных членов.
- 12–6. Нехватка знаний о проекте.

x_{13} — «Высокие затраты на реализацию проекта»:

- 13–1. Изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач.
- 13–2. Переделка отдельных объектов проекта.
- 13–3. Вынужденное увеличение специалистов в коллективе.
- 13–4. Ошибочность инженерных и других технических решений, которые, будучи запрограммированными на начальном этапе, приводят к конечным потерям.

x_{14} — «Временной дефицит при создании проекта»:

- 14-1. Изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач.
- 14-2. Мотивация участников проекта. Спонтанные действия по демотивации коллектива.
- 14-3. Переделка отдельных объектов проекта.
- 14-4. Незапланированные отсутствия членов коллектива. Дезорганизация работы.
- 14-5. Технические задержки сроков выполнения работы.

x_{15} — «Дефицит ресурсов для осуществления проекта»:

- 15-1. Низкое качество исходной документации.
- 15-2. Незапланированные отсутствия членов коллектива. Дезорганизация работы.
- 15-3. Отсутствие хороших контрольных показателей.
- 15-4. Ошибочность инженерных и других технических решений.
- 15-5. Нехватка знаний о проекте. Низкий уровень доступности данных.
- 15-6. Недостаточная компетентность отдельных членов коллектива.

x_{16} — «Необоснованный отход от плана создания проекта»:

- 16-1. Ошибочность инженерных и других технических решений.
- 16-2. Нехватка знаний о проекте. Низкий уровень доступности данных.
- 16-3. Отказ от первоначального проекта. Изменение требований к частям проекта.
- 16-4. Переделка отдельных объектов проекта.

x_{17} — «Изменения в рабочих процессах при создании проекта»:

- 17-1. Изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач.
- 17-2. Отказ от первоначального проекта. Изменение требований к частям проекта.

17–3. Нехватка знаний о проекте. Низкий уровень доступности данных.

x_{18} — «Отсутствие или недостаток конкретных условий для реализации проекта»:

18–1. Низкое качество исходной документации.

17–2. Отказ от первоначального проекта. Изменение требований к частям проекта.

18–3. Недостаточная компетентность отдельных членов коллектива.

18–4. Отсутствие хороших контрольных показателей.

x_{21} — «Результат влияния заказчика проекта»:

21–1. Изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач.

21–2. Низкое качество исходной документации.

21–3. Отказ от первоначального проекта. Изменение требований к частям проекта.

21–4. Слабая коммуникация с заказчиком.

21–5. Отказ заказчика от готового проекта.

x_{22} — «Изменение требований к проекту»:

22–1. Изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач.

22–2. Слабая коммуникация с заказчиком.

22–3. Ошибочность инженерных и других технических решений, которые, будучи запрограммированными на начальном этапе, приводят к конечным потерям.

22–4. Отсутствие хороших контрольных показателей.

x_{23} — «Отсутствие внешних условий для работы коллектива»:

23–1. Слабая коммуникация с заказчиком.

23–2. Нехватка знаний о проекте. Низкий уровень доступности данных.

23–3. Технические задержки сроков выполнения работы.

Очевидна синонимичность некоторых высказываний, что позволяет упростить алгоритм решения. Но показательным здесь

является протяженность во времени и неопределенность проявления практически каждого высказывания на конечный результат — выявление реального риска для проект-менеджмента.

Инициализация входных весовых коэффициентов. То есть исходные данные по весам. Теоретически можно изначально принимать такие веса равными, например, нулю, либо единице. Практика назначения нулей не прижилась, потому что, например, наиболее примеряемая активационная функция *ReLU* не воспринимает нули в качестве инициализации. Это же относится ко многим другим подобным функциям. В составном значении весового коэффициента $m_0 + \sum m_i y_i$ лучше всего принимать $m_0 \rightarrow 0$ при условии $m_0 \rightarrow m_0 > 0$.

Замечание касается также одинаковости весов всех входных сигналов входов. Этого нельзя допускать потому, что при обучении модели возникнут несоответствия для каждого нейрона, для которого поправки по весам будут одинаковыми и модель никогда не придет к весовому минимальному равновесию.

Логичнее их задавать исходя из фактических безразмерных соотношений, существующих на практике, либо, если аналитик имеет достаточный опыт практической работы, можно воспользоваться его эмпирическими данными.

Либо самый простой вариант — использовать датчики случайных чисел. В *keras* существует программный продукт «*Seed*» — датчик случайных чисел. Он удобен еще потому, что позволяет не хранить огромные базы данных из всех промежуточных вычислений при обучении сети, а пользоваться каждый раз новым прогоном этапов обучения.

Обучение нейронов в условиях активационных функций бифуркационного характера пока не проводилось. Поэтому для выполнения такой задачи мы максимально упростим формат нейронной сети, приняв условия суперпозициональности и раздельности частей сети, в целом как единой. При этом в *ReLU* примем коэффициент $k < 0$.

Общая задача обучения, в самом простом варианте, состоит в том, чтобы минимизировать функцию E , подобрав соответству-

ющие весовые коэффициенты $m_{ji}(n + 1)$ во время обучения сети, так, что для i -й характеристики j -го объекта на $(n + 1)$ -м шаге итерации уточняемый весовой коэффициент нейронов внутреннего слоя активации получался бы как

$$m_{ji}(n + 1) = m_{ji}(n) - \lambda \frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)}. \quad (9.2)$$

Здесь λ , в виде итерационного шага обучения, можно принимать как адаптивную скорость обучения. Минимизация функции $E = \sum (y_i - \bar{y})^2$ осуществляется через ее производную как

$$\frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)} = -\sum_i [e_k(n) \cdot m_{ji}(n) \cdot \varphi'_c(v_i(n))] \cdot \varphi'_b(v_i(n)) y_i(n) \quad (9.3)$$

и показывает изменение коэффициента $m_{ji}(n)$ на $(n + 1)$ -м этапе итерации.

Здесь φ'_c — производная активационной функции внешнего слоя активации; φ'_b — производная активационных функций предыдущего внутреннего слоя активации.

Алгоритм «*back propagation*» здесь в кратком изложении состоит в том, чтобы для выбранной j -й нейронной структуры, представленной в матрице в виде входных сигналов ($x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{ji}, \dots$), рассчитать, в соответствии с принятой активационной формулой, значения выходных сигналов y_i и определить значение $\bar{y}_j$. Посредством сравнения y_i и $\bar{y}_j$ находим ошибку $e_j(n)$ на n -м этапе итерации, после чего поправляем весовые коэффициенты указанным выше способом, в зависимости от того — внутренний это слой активации или внешний. Корректировка весов осуществляется в обратном направлении. Откуда название метода — «*back propagation*».

В конечном результате, после осуществления таких проводок по всем нейронам, по всем наблюдениям, все ошибки сети суммируются: сумма квадратов ошибок показывает, насколько обучена нейронная сеть с новыми коэффициентами.

В качестве критерия качества для построенной модели примем «категориальную кроссэнтропию». Метод оптимизации принимаем в пакете «*Adam*». И стохастический градиентный спуск

с моментом Нестерова. Такие способы наиболее практичные, отработанные и готовые к применению в виде пакетов *keras* [6].

Метод градиентного спуска. Цель: $\operatorname{argmin} F(x_1, x_2, \dots, x_k)$ — та точка, в которой функция достигает минимума. Для удобства прочтения повторим еще раз выкладки для описания метода.

Выбираем начальную точку $(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0})$. Далее итеративно меняем эту точку по правилу

$$x_{j,i+1} = x_{j,i} - \lambda \frac{\partial f(x_{ji}, x_{j+1,i}, x_{ki})}{\partial x_{ji}} \quad (9.4)$$

таким образом, что минимум значения функции будет соответствовать условию $x_{j,i+1} = x_{j,i} \pm \lambda \cdot k$. Здесь λ можно принимать как адаптивную скорость обучения. Если ее значение в уравнении (9.2) велико, то количество итераций мало, но при этом есть опасность «перепрыгнуть овраг», то есть перешагнуть через минимум функции. В процессе обучения необходимо иметь возможность для корректировки λ . Чем меньше производная от функции активации в точке $x_{j,i}$, тем меньшее начальное значение коэффициента $\lambda \rightarrow 0$ можно указывать и тем более мелкими шагами можно итерировать обучение, и наоборот, чем больше расчетные значения производной от активационной функции, тем выше значение $\lambda > 0$ можно выбирать для итерации, тем самым экономя время обучения системы. Такой подход в более конкретном исполнении называется методом градиентного спуска.

Без вывода запишем общую формулу для корректировочных значений весовых коэффициентов внешнего активационного слоя, получаемых методом градиентного спуска

$$m_{ji}^b(n+1) = m_{ji}^b(n) + \lambda \cdot e_i(n) \cdot y_i(n) \cdot \varphi'_b(v_i(n)), \quad (9.5)$$

где n — порядковый номер итерации, e_i — ошибка вычисления $(\sum (y - \bar{y})^2)$; y — выходное значение нейрона на n -м этапе итерации; φ'_b — производная промежуточной n -й внутренней активационной функции $f(x)$, если только она не последняя. Второй член уравнения — это поправка к весовому коэффициенту на $(n+1)$ -м этапе итерации.

Корректировочные значения весовых коэффициентов внутреннего активационного слоя получаются следующим образом

$$m_{ji}^b(n+1) = m_{ji}^b(n) - \lambda \frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)}, \quad (9.6)$$

где $m_{ji}^b(n)$ — весовой коэффициент на предыдущем этапе итерации.

Производная сложной функции определяется как

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)} &= \frac{\partial E(n)}{\partial y_i(n)} \cdot \frac{\partial y_i(n)}{\partial v_i(n)} \cdot \frac{\partial v_i(n)}{\partial m_{ji}(n)} \\ \text{и } \frac{\partial v_i(n)}{\partial y_i(n)} &= m_{ji} = \frac{\partial (\sum_i m_{ji}(n) \cdot y_j(n))}{\partial y_j(n)} \end{aligned} \quad (9.7)$$

или

$$\frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)} = -\sum_i [e_k(n) \cdot m_{ji}(n) \cdot \varphi'_c(v_i(n))] \cdot \varphi'_b(v_i(n)) y_i(n) \quad (9.8)$$

и показывает изменение коэффициента $m_{ji}(n)$ на $(n+1)$ -м этапе итерации.

Здесь φ'_c — производная активационной функции внешнего слоя активации; φ'_b — производная активационных функций предыдущего внутреннего слоя активации. Исходные данные и порядок вычислений представлены ниже (табл. 9.2).

Сразу обратим внимание, что при обучении поведение весовых коэффициентов, как основных носителей информации в сетях, разделилось на две группы. К одной относятся входные сигналы, коэффициенты которых оптимизируются и их разбег данных обычно не превышает единиц и десятков процентов. Вторая группа предикатов, отмеченная затемнениями в таблице — это:

- непрогнозируемое увеличение объема работы x_{11} ;
- необоснованный отход от плана создания проекта x_{16} ;
- отсутствие или недостаток конкретных условий для создания проекта x_{18} ;
- результат произвольного влияния заказчика проекта x_{21} ;
- изменение внешних требований к проекту x_{22} .

Эти входы при обучении характеризуются двумя признаками.

1. Значительный разброс данных по весовым коэффициентам (до тысячи процентов);

2. Конечные значения коэффициентов приближаются к нулевой отметке, что затрудняет их учет типовыми методами в дальнейшем исследовании.

Таблица 9.2 — Исходные данные для расчета нейронной сети рисков в системе проект-менеджмента

Обозначение входного сигнала и его начальный весовой коэффициент, $i = 1 \div 11$										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{21}	x_{22}	x_{23}
m_{11}	m_{12}	m_{13}	m_{14}	m_{15}	m_{16}	m_{17}	m_{18}	m_{21}	m_{22}	m_{23}
45,1	9,7	64,5	12,4	1,73	0,45	23,6	5,4	54,1	16,1	0,33
Нормативные показатели										
Число входных сигналов						11				
Число выходных функций						3				
Число наблюдений						256				
Логическое описание класса событий						Класс C^1 (истина)		Класс C^2 (ложь)		
– риск отсутствия готового про- екта, y_1						C_1^1		C_1^2		
– риск отсрочки подготовки про- екта, y_2						C_2^1		C_2^2		
– риск невыполнен. требований заказчика, y_3						C_3^1		C_3^2		
Число заданных образов для каждо- го класса						$N = 6$				
Порог активации						$h = 12,0$				
Параметр смещения линии разде- ления						$b = 0,7$				
Параметр ожидаемого результата						$D = 4$				
Шаг сходимости алгоритма « <i>back propagation</i> »						$\lambda = 0,0001$				
Заданная поисковая ошибка сети						$\varepsilon = 0,05$				

Порядок вычислений

```
In [1]: Импорт библиотек: import numpy, pandas as pd
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt
matplotlib.style.use('ggplot')
%matplotlib inline

In [2]: Рабочая папка: import os
os.chdir('C:/users/user/documents/Python_TX4')

In [3]: Импорт необходимого из keras:
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.utils import np_utils

In [5]: Импорт обучающей выборки (в обозначениях ReLU)
risk = pd.read_csv('risk.txt', sep='t', header=0)
y = -(f(x)-f(x+1)) = 0, for x in range1, y = [x = -1] = 0, y = [x = 0] = 0
y = -(f(x)-f(x+1)) = 0, , for x in range2, y = [x = -1] = 1, y = [x = 0] = 1

In [6]: risk.head()
Out[6]
```

i	Input1	Input2	Input3	Input4	Input5	Input6	Input7	Input8	Input9	Input10	Input11	Desired1
0	45.1	9.7	64.5	12.4	1.73	0.45	23.6	5.4	54.1	16.1	0.33	0
1	2.5	8.4	62.1	12.9	1.55	0.33	21.5	6.1	50.4	10.3	0.45	0
2	11.1	9.1	63.6	12.1	1.49	1.13	22.4	3.2	7.11	5.6	0.48	0
3	49.9	9.4	61.1	11.7	1.44	2.54	23.1	2.1	28.8	11.9	0.54	0
4	53.3	9.8	64.9	12.3	1.66	16.37	25.9	6.5	15.5	21.5	0.55	2
5	4.2	8.3	62.5	11.5	1.88	0.73	23.3	0.9	5.55	10.8	0.54	2
6	4.9	7.9	66.1	11.5	1.58	0.02	25.1	2.4	0.51	4.1	0.39	2
7	3.7	8.4	65.8	12.8	1.25	0.86	21.4	1.1	9.1	3.9	0.33	2
8	2.5	8.1	66.1	12.4	1.49	2.77	22.2	0.8	17.2	4.0	0.31	2
9	0.14	9.4	64.2	13.1	1.44	0.45	25.3	1.9	0.41	0.05	0.35	2
10	21.7	9.0	63.5	13.5	1.84	0.005	28.8	3.4	2.75	1.8	0.49	1
11	44.4	8.9	65.7	12.2	1.77	0.52	25.5	0.1	1.81	0.6	0.44	1
12	0.82	8.8	63.5	12.5	1.75	0.05	25.1	0.7	0.01	0.06	0.47	1
13	2.14	8.5	64.9	11.9	1.61	0.04	21.6	0.06	2.22	1.9	0.38	1
14	0.05	9.3	63.1	11.4	1.97	0.0007	23.5	0.2	0.003	0.061	0.32	1
15	0.006	9.7	63.2	11.0	1.48	0.00012	22.8	0.004	0.0011	0.0003	0.25	1
16	0.005	9.5	64.5	11.5	0.95	0.00025	24.5	0.0003	0.0015	0.0005	0.25	1

Как правило, высказывания, соответствующие этим предикатам, отличаются неопределенностью и зависимостью от огромного количества неучтенных внешних и внутренних факторов. Подобная неопределенность характерна не только для исходных данных в системах проект-менеджмента. Все те области деятельности, которые характеризуются сильным субъективным влиянием человека, могут быть отнесены к таким системам. Основное их отличие в отношении к риск-менеджменту заключается именно в неопределенности исходных данных и затруднениях при их формализации и прогнозировании.

Вернемся к программе обучения.

В расчетной таблице код риска y_1 — соответствует «0», код риска y_2 — соответствует «1», код риска y_3 — соответствует «2» — (desired1). Конечным этапом обучения является система коэффициентов, при которой желанным результатом является «1», то есть риск, связанный с выходом y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта».

Далее мы показываем, какую долю риска в проекте занимает каждый его выход.

```
In [7]: risk['desired1'(3)],value_counts(normalize=True)
Out[7]: 2    0,2694
        1    0,4049
        0    0,3257
        Name: Desired1(3), dtype: float64
In [8]: x=risk['desired1'(3)]
        x=x.drop(['desired1'(3)]),
```

Далее учитываем расщепление на две выборки — содержательную (1/3 часть) и обучающую (2/3 части):

```
In [9]: from sklearn.model_selection import train_test_split
        x_train x_test y_train y_test = train_test_split(x, y, random_state=12345, test_size=0,33)
In [10]: x_train.head()
        x_test.head()
        y_train.head()
        y_test.head()
```

Разделение выборки на обучающую и содержательную:

```
Out [10]: 64    2
          72    2
          112   1
           44    0
           88    1
          Name: Desired1(3), dtype: int64
In [11]: x_train = x_train.values
        x_test = x_test.values
        y_train = y_train.value
        y_test = y_test.values
In [12]: y_train_bin = np_utils.to_categorical(y_train)
        Y_test_bin = np_utils.to_categorical(y_test)
In [13]: y_train_bin.head()
In [14]: y_train_bin[0:5]
Out [14]: array([[1., 0., 0.], риск вида y1
                [0., 0., 1.], риск вида y3
                [1., 0., 0.], риск вида y1
                [0., 1., 0.], риск вида y2
                [0., 1., 0.], риск вида y2
                dtype=float 32)
```

Каждый столбец является индикатором того, является ли риск видом y_1 , y_2 или y_3 .

Результаты в системе оценок располагаются следующим образом: «0» класс=0,031; «1» класс=0,9889; «2» класс=0,0005. Мы может делать вывод о том, что событие принадлежит к классу «1», т.е. к риску вида y_2 . Сумма всех выходных классов совсем

не соответствует единице: $0,0001 + 0,9999 + 0,0005 > 1$. Чтобы привести к единообразию (модифицировать), эти величины стандартизируются по принципу обобщенной логистической функции Softmax: $s_{y_i} = \frac{e^{y_i}}{\sum e^{y_i}}$, таким образом, чтобы $\sum s_{y_i} = 1$ (табл. 9.3).

В этом случае, модифицированная оценка «1» относится к риску вида y_2 .

Таблица 9.3 — Модификация выхода нейросети через преобразование логистической функции *Softmax*

№	«класс»	Исходная оценка, y_i	Модифицированная оценка, S
1	«0»	0,0311	0
2	«1»	0,9889	1
3	«2»	0,0005	0
	$\sum s_{y_i}$	1,0205	1,0000

На этом этапе алгоритма мы можем составить ранг всех событий на предмет, насколько они соответствуют опосредованному классу риска «2», или «1», или «0». Это процедура ранжировки результатов с использованием *Softmax*.

Из *keras* импортируем *Sequential* в сети прямого распространения:

```
In [15]: from keras.models import Sequential
         from keras.Layer import Dense
```

Модуль, описывающий активационные слои в модели:

```
In [16]: model Sequential()
         model.add(Dense(9, input_dim=11, activation='relu'))
         model.add(Dense(10, activation='relu'))
         model.add(Dense(1, activation='softmax'))
         model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
         model.fit(x_train, y_train_bin, epochs=250, batch_size=10)
Out [16]: (keras.callbacks.History at 0xt1be320)]
In [...]: # evaluate the model
         # scores = model.evaluate(x_test, y_test_bin)
         # print ('\nAccuracy: %2f%%' % (scores[1]*100))
In [...]: # calculate predictions
         # predictions = model.predict(x_test)
         # round predictions
```

```
# rounded = [round(x[0]) for x in predictions]
# print (rounded)

Accuracy: 28,01%
In [16]: model.Sequential()
         model.add(Dense(9, input_dim=11, activation='relu'))
         model.add(Dense(10, activation='relu'))
         model.add(Dense(2, activation='softmax'))
         model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
         model.fit(x_train, y_train_bin, epochs=250, batch_size=10)
Out [16]: (keras.callbacks.History at 0xt1be320)
In [...]: # evaluate the model
         # scores = model.evaluate(x_test, y_test_bin)
         # print ('\nAccuracy: %.2f%%' % (scores[1]*100))
In [...]: # calculate predictions
         # predictions = model.predict(x_test)
         # round predictions
         # rounded = [round(x[0]) for x in predictions]
         # print (rounded)

Accuracy: 59,32%
In [16]: model.Sequential()
         model.add(Dense(9, input_dim=11, activation='relu'))
         model.add(Dense(10, activation='relu'))
         model.add(Dense(3, activation='softmax'))
         model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
         model.fit(x_train, y_train_bin, epochs=250, batch_size=10)
Out [16]: (keras.callbacks.History at 0xt1be320)
In [...]: # evaluate the model
         # scores = model.evaluate(x_test, y_test_bin)
         # print ('\nAccuracy: %.2f%%' % (scores[1]*100))
In [18]: # calculate predictions
         # predictions = model.predict(x_test)
         # round predictions
         # rounded = [round(x[0]) for x in predictions]
         # print (rounded)

Accuracy: 44,92%
```

Тестовая выборка в расчете дала нам 64,56% точности (*accuracy*), что вполне достаточно для обученной сети (табл. 9.4).

Наибольшую заявленную точность *при обучении* имеет позиция кода «1» — 66,11%, которая относится к риску u_2 , наименьшую точность дает позиция кода «0» — 28,01%, относящаяся к риску u_1 .

В этих расчетах мы учитывали вместе неопределенные и определенные входные сигналы. Теперь оценим точность результатов для варианта, если мы учитываем только входные сигналы в неопределенном объеме заданности исходных данных.

Таблица 9.4 — Таблица итераций в системе обучения и тестирования модели при заявленном уровне точности (Accuracy: 0,67)

№ п/п	Шаг обучения	Порядок выходного сигнала			Фактическая точность на этапе	
		«0»	«1»	«2»	обучения, %	тестирования, %
1	0	1.	0.	0.	11,98	24,55
2	1	1.	0.	0.	22,65	33,11
3	2	1.	0.	0.	28,01	41,62
4	3	1.	0.	0.	19,88	24,13
Ранг выходного события		y_1 — «риск отсутствия готового проекта»			28,01	41,62
5	4	0.	0.	1.	51,88	44,95
6	5	0.	0.	1.	44,92	11,08
7	6	0.	0.	1.	33,11	42,36
8	7	0.	0.	1.	59,32	55,19
9	8	0.	0.	1.	33,45	52,69
Ранг выходного события		y_3 — «риск невыполнения требований заказчика»			59,32	55,19
10	9	0.	1.	0.	34,57	48,21
11	10	0.	1.	0.	62,09	66,11
12	11	0.	1.	0.	66,74	59,09
13	12	0.	1.	0.	66,11	64,56
Ранг выходного события		y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта»			66,11	64,56

Для этого сократим число входных сигналов только их выборкой: (x_{11} , x_{16} , x_{18} , x_{21} , x_{22}), для которых возможна бифуркация в диапазоне (0;1) или (−1;0).

```
In [5]: Импорт обучающей выборки (в обозначениях ReLU)
risk = pd.read_csv('risk.txt', sep='\t', header=0)
y = -[f(x)-f(x+1)+1] = 0, for x in range1, y = [x = -1] = 0, y = [x = 0] = 0
y = -[f(x)-f(x+1)] = 0, , for x in range2, y = [x = -1] = 1, y = [x = 0] = 1

In [16]: model.Sequential( )
model.add(Dense(9, input_dim=5, activation='relu'))
model.add(Dense(16, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='softmax'))
model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
model.fit(x_train, y_train_bin, epochs=250, batch_size=10)

Out [16]: (keras.callbacks.History at 0xt1be320)

In [...]: # evaluate the model
# scores = model.evaluate(x_test, y_test_bin)
# print ('Accuracy: %2f%%' % (scores[1]*100))

In [...]: # calculate predictions
# predictions = model.predict(x_test)
# round predictions
# rounded = [round(x[0]) for x in predictions]
# print (rounded)

Accuracy: 0,81%

In [5]: Импорт обучающей выборки (в обозначениях ReLU)
risk = pd.read_csv('risk.txt', sep='\t', header=0)
y = -[f(x)-f(x+1)+1] = 0, for x in range1, y = [x = -1] = 0, y = [x = 0] = 0
y = -[f(x)-f(x+1)] = 0, , for x in range2, y = [x = -1] = 1, y = [x = 0] = 1

In [16]: model.Sequential( )
model.add(Dense(9, input_dim=5, activation='relu'))
model.add(Dense(16, activation='relu'))
model.add(Dense(2, activation='softmax'))
model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
model.fit(x_train, y_train_bin, epochs=250, batch_size=10)

Out [16]: (keras.callbacks.History at 0xt1be320)

In [...]: # evaluate the model
# scores = model.evaluate(x_test, y_test_bin)
# print ('Accuracy: %2f%%' % (scores[1]*100))

In [...]: # calculate predictions
# predictions = model.predict(x_test)
# round predictions
# rounded = [round(x[0]) for x in predictions]
# print (rounded)

Accuracy: 2,01%

In [5]: Импорт обучающей выборки (в обозначениях ReLU)
risk = pd.read_csv('risk.txt', sep='\t', header=0)
y = -[f(x)-f(x+1)+1] = 0, for x in range1, y = [x = -1] = 0, y = [x = 0] = 0
y = -[f(x)-f(x+1)] = 0, , for x in range2, y = [x = -1] = 1, y = [x = 0] = 1

In [16]: model.Sequential( )
model.add(Dense(9, input_dim=5, activation='relu'))
model.add(Dense(16, activation='relu'))
model.add(Dense(3, activation='softmax'))
model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
model.fit(x_train, y_train_bin, epochs=250, batch_size=10)

Out [16]: (keras.callbacks.History at 0xt1be320)

In [...]: # evaluate the model
# scores = model.evaluate(x_test, y_test_bin)
# print ('Accuracy: %2f%%' % (scores[1]*100))

In [...]: # calculate predictions
# predictions = model.predict(x_test)
# round predictions
```

```
# rounded = [round(x[0]) for x in predictions]
# print (rounded)
```

Accuracy: 1,66%

Точность при обучении для такой сети не превышает 2%. При этом сеть практически не реагирует на изменение весовых коэффициентов, размерность которых стремится к нулевой отметке, а после 14–15-го шага обучения, как правило, не определяется. Таким образом, следует понимать, что подобные высказывания и соответствующие им предикаты, в данном случае это:

x_{11} — «Непрогнозируемое увеличение объема работ по проекту»;

x_{16} — «Не обоснованный отход от плана создания проекта»;

x_{18} — «Отсутствие или недостаток конкретных условий для реализации проекта»;

x_{21} — «Результат влияния заказчика проекта»;

x_{22} — «Изменение требований к проекту».

не позволяют проект-менеджменту прогнозировать риски в таких системах.

Но вернемся к решению основной задачи с учетом изложенного выше. Все полученные данные следует изложить в виде алгоритма действий проект-менеджмента при выполнении таких работ.

Итоговые весовые коэффициенты при обучении нейросети представлены в таблице 9.5. Графическое отображение модели нейросети в расчетном варианте представлена на рис. 9.3. Для такой модели графа G (G^0 , G') вершинами графа являются суть входные сигналы нейронной сети $G^0 = \{x_i, y_i\}, i = 11, 12, \dots, 18, 21, \dots, 23; i = 1, 2, 3$. Ребра графа соответствуют уточненным весовым коэффициентам $G' = \{\bar{m}_j\}$ в интерпретации символов (см. табл. 9.5). Таким образом, графопостроительная модель содержит только последовательность входных сигналов и выходных функций системы, упуская ее синапсную часть, отвечающую за качество обучения и информативность результатов.

Таблиця 9.5 — Исходные и уточненные весовые коэффициенты входных и внутренних сигналов для нейронной модели предупреждения рисков в проект-менеджменте

j	Input1	Input2	Input3	Input4	Input5	Input6	Input7	Input8	Input9	Input10	Input11	Desired1
0	45,1	9,7	64,5	12,4	1,73	0,45	23,6	5,4	54,1	16,1	0,33	0
16	0,005	9,5	64,5	11,5	0,95	0,00025	24,4	0,0003	0,0015	0,0005	0,25	«1»
Прямое распространение												
Синапс A^1							Синапс A^3					
$m_{11}^{(1)}$	$m_{12}^{(1)}$	$m_{13}^{(1)}$	$m_{21}^{(1)}$	$m_{22}^{(1)}$	$m_{23}^{(1)}$	$m_{32}^{(1)}$	$m_{31}^{(1)}$	$m_{32}^{(1)}$	$m_{33}^{(1)}$	$m_{11}^{(3)}$	$m_{12}^{(3)}$	$m_{21}^{(3)}$
6,54	2,11	0,49	7,71	4,32	1,01	0,79	0,34	7,55	0,64	5,41	2,45	1,19
Синапс A^2							Сумматор R					
$m_{11}^{(2)}$	$m_{12}^{(2)}$	$m_{21}^{(2)}$	$m_{22}^{(2)}$	$m_{31}^{(2)}$	$m_{32}^{(2)}$	$m_{33}^{(2)}$	$m_{11}^{(R)}$	$m_{12}^{(R)}$	$m_{13}^{(R)}$	$m_{21}^{(R)}$	$m_{22}^{(R)}$	$m_{23}^{(R)}$
1,75	3,04	2,71	0,54	0,77	4,01	28,5	33,11	41,6	25,0	0,007	12,1	
Обучение (корректировка коэффициентов)												
Сумматор R							Синапс A^3					
$\bar{m}_{11}^{(R)}$	$\bar{m}_{12}^{(R)}$	$\bar{m}_{21}^{(R)}$	$\bar{m}_{22}^{(R)}$	$\bar{m}_{31}^{(R)}$	$\bar{m}_{32}^{(R)}$	$\bar{m}_{33}^{(R)}$	$\bar{m}_{11}^{(3)}$	$\bar{m}_{12}^{(3)}$	$\bar{m}_{13}^{(3)}$	$\bar{m}_{21}^{(3)}$	$\bar{m}_{22}^{(3)}$	$\bar{m}_{23}^{(3)}$
28,5	33,11	41,6	25,0	0,77	12,1	21,32	0,09	13,14	9,75	0,88	1,11	
Синапс A^4							Синапс A^2					
$\bar{m}_{11}^{(4)}$	$\bar{m}_{12}^{(4)}$	$\bar{m}_{21}^{(4)}$	$\bar{m}_{22}^{(4)}$	$\bar{m}_{11}^{(1)}$	$\bar{m}_{12}^{(2)}$	$\bar{m}_{13}^{(2)}$	$\bar{m}_{21}^{(2)}$	$\bar{m}_{22}^{(2)}$	$\bar{m}_{23}^{(2)}$	$\bar{m}_{31}^{(2)}$	$\bar{m}_{32}^{(2)}$	$\bar{m}_{33}^{(2)}$
0,34	0,77	1,13	2,02	34,11	0,25	31,74	2,55	22,77	4,57	4,82	2,21	0,29
Синапс A^1												
Desired(x)	$\bar{m}_{11}$	$\bar{m}_{12}$	$\bar{m}_{13}$	$\bar{m}_{14}$	$\bar{m}_{15}$	$\bar{m}_{16}$	$\bar{m}_{17}$	$\bar{m}_{18}$	$\bar{m}_{21}$	$\bar{m}_{22}$	$\bar{m}_{23}$	
«1»	-	9,5	64,5	11,5	0,95	-	24,4	-	-	-	-	0,25
$\pm\Delta$, %	-	-2,1	0,0	-7,8	-185,0	-	+3,3	-	-	-	-	-32,0

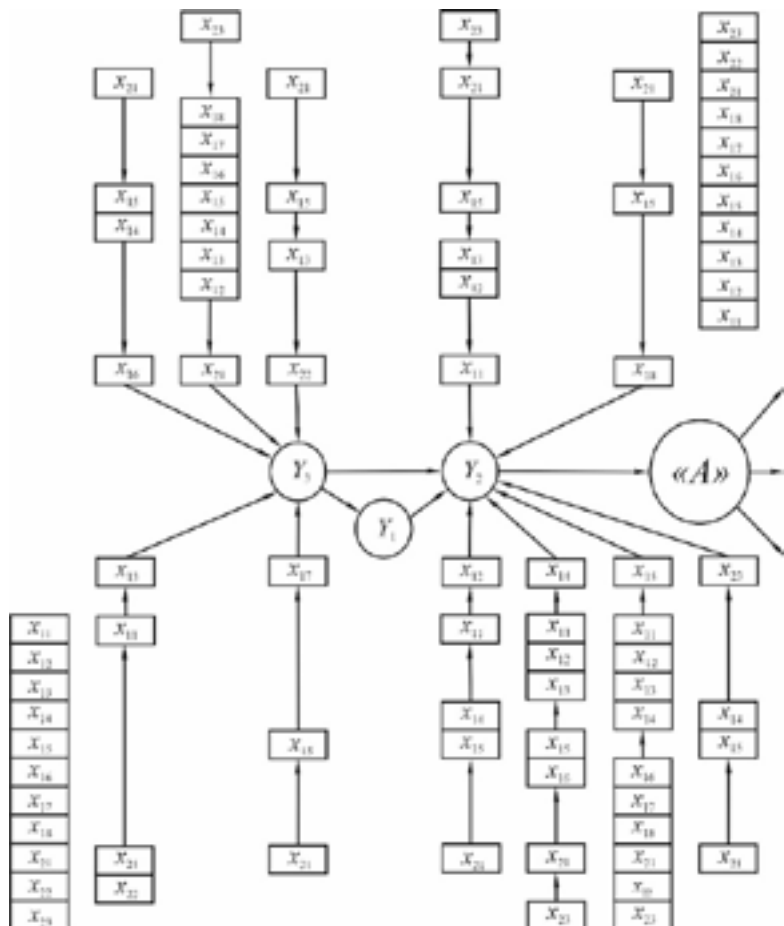


Рис. 9.3 — Графопостроительное изображение модели нейросети для прогнозирования рисков в проект-менеджменте (весовые коэффициенты представлены в табл. 9.5)

Применение такой нейронной сети NN позволяет рассматривать по крайней мере 6 из 11 входных сигналов, заявленных в системе, как реально влияющих на рискообразование в системе проект-менеджмента. Пять входных сигналов проявили неопределенность в своем влиянии на возможные риски в системе.

Из шести оставшихся в процессе обучения существенные изменения по степени влияния на систему получили входы, кодированные как $x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}$, а именно:

x_{12} — «низкая производительность» $m_{12}=9,5$. Отношение к исходному параметру y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта» в соотношении примерно 1:1;

x_{13} — «высокие затраты на реализацию проекта» $m_{13}=64,5$. Отношение к исходному параметру y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта» в соотношении 1:1;

x_{14} — «временной дефицит при создании проекта» $m_{14}=11,5$. Отношение к исходному параметру y_3 — «риск невыполнения требований заказчика» в соотношении примерно 1:1;

x_{17} — «изменения в рабочих процессах при создании проекта» $m_{17}=24,4$. Отношение к исходному параметру y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта» в соотношении примерно 1:1.

Два других предиката после обучения существенно изменили свои весовые коэффициенты, что показывает на изменение их информационной составляющей в системе, а именно:

x_{15} — «дефицит ресурсов для осуществления проекта» $\bar{m}_{15} = 0,95$. Отношение к выходному параметру y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта» в соотношении примерно 2:1;

x_{23} — «отсутствие внешних условий для работы коллектива» $\bar{m}_{23} = 0,25$. Отношение к выходным параметрам y_1, y_2, y_3 примерно, как 0,33: 0,33: 0,33.

В свою очередь, например, параметр x_{15} распадается в соотношении критерия влияния α по следующим факторам:

- низкое качество исходной документации (показатель участия $\alpha=0,28$);
- незапланированные отсутствия членов коллектива. Дезорганизация работы ($\alpha=0,07$);
- отсутствие надежных контрольных показателей ($\alpha=0,25$);
- ошибочность инженерных и других технических решений ($\alpha=0,13$);
- нехватка знаний о проекте. Низкий уровень доступности данных ($\alpha=0,20$);

– недостаточная компетентность отдельных членов коллектива ($\alpha=0,07$);

Наиболее стабильным оказалось значение весового коэффициента для входного параметра (3), а именно x_{13} — «Высокие затраты на реализацию проекта», для которого уточненное значение $\bar{m}_3 = m_{13} = 64,5$. Этот входной сигнал имеет следующую интерпретацию:

– изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач ($\alpha=0,43$);

– переделка отдельных объектов проекта ($\alpha=0,35$);

– вынужденное увеличение специалистов в коллективе ($\alpha=0,05$);

– ошибочность инженерных и других технических решений, которые, будучи запрограммированными на начальном этапе, приводят к конечным потерям ($\alpha=0,17$).

В процессе обучения нейронной сети показано, наиболее реальным при прогнозировании является риск y_2 — «риск отсрочки подготовки проекта», точность которого при тестировании составила почти 2/3 от единицы (см. табл. 9.4). Это совсем близко от заявленной в аналитике точности в 67%.

Если собрать воедино все полученные результаты от применения модели нейронной сети для прогнозирования рисков в проект-менеджменте, можно получить несколько выводов, которые очевидно помогут менеджерам проекта избежать ошибок, способных привести к возможным рискам и проблемным событиям в процессе реализации проекта.

С достоверностью около 66% и при заданной точности обучения модели нейронной сети для оценки рисков в проект-менеджменте в качестве основного результата можно показать следующее.

1. Наиболее актуальным в проект-менеджменте является риск, связанный с отсрочками при подготовке проекта — y_2 . Основными причинами, приводящими к такому итогу, являются: изменение приоритетов, концепции проекта, количества задач (коэффициент участия $\alpha=0,43$), а так-

же вынужденные переделки отдельных объектов в проекте ($\alpha=0,35$).

2. Как результат дефицита ресурсов для осуществления проекта присутствует риск невыполнения проектного задания в полном виде, срыв сроков и низкое качество проекта.

3. По появляющимся причинам отхода от плановых показателей возникает реальный риск невыполнения требований заказчика.

4. Если не созданы условия для выполнения работы, это влечет в равной степени появление рисков, связанных с:

- отсутствием в срок готового проекта (невысокая стоимость риска);
- отсрочкой по времени для завершения проекта (высокая стоимость риска);
- невыполнением требований заказчика (высокая стоимость риска).

5. Такие факторы, как

- непрогнозируемое увеличение объема работ по проекту;
- необоснованный отход от плана создания проекта;
- отсутствие или недостаток конкретных условий для реализации проекта;
- результат спонтанного влияния заказчика проекта;
- изменение требований к проекту

как правило, не прогнозируемы при помощи нейронных сетей и требуют других механизмов анализа.

Уходя от вероятности, как количественной оценки риска, мы потеряли в точности прогнозирования. То есть, 100-процентный результат получить невозможно. Достижимый результат в 66% в период обучения сети и 64,11% во время теста, при определенных условиях нас может не удовлетворять, если вопрос касается применения такой сети.

Идентификация событийного риска позволяет значительно улучшить качество разработки проекта. Когда риск удалось обойти, но, вместе с тем, он учтен в оценке, появляется возможность досрочного выполнения задачи — что очень удобно для команды.

Каждый член команды должен принимать участие в попытках идентификации рисков, осознавать возможные последствия и знать, как на них реагировать.

9.2. Событийные риски и сценарии Паддингтонской катастрофы

Столкновение двух поездов, скоростного интерсити компании «First Great Western», шедшего из Челтема в Лондон, и пригородного дизельного поезда компании «Thames Trains» из Лондона произошло 5 октября 1999 года на расстоянии 3,2 км от вокзала Паддингтон по четвертому пути движения первого поезда [7, 8, 9].

Косвенно причины катастрофы закладывались еще в 1993 году, когда решением правительства Великобритании был запущен механизм приватизации железных дорог, которые были распределены продажей между 25 крупными компаниями. Но только одна из них, «Rail Trains», получила права на управление всей инфраструктурой вокзалов, включая здания, пути, стрелки и светофорное хозяйство. К моменту приватизации путевое и сигнальное хозяйство Большой Западной главной линии железных дорог страны было изношено и нуждалось во внеплановых ремонтах. Однако закрывать прибыльные вокзалы никто не собирался. Кроме того, установка новых, более современных светофоров в 1995 году не учитывала утрату некоторыми из них видимости из-за скоплений элементов воздушных контактных сетей, солнечных бликов, ухудшающих различение сигналов светофоров. Несистемные проверки работы светофоров также предоставляли возможности для их некачественной работы. Это касалось и светофора SN109, расположенного у выезда из вокзала Паддингтон. Если первый из указанных поездов вел опытный машинист, то вторым поездом управлял машинист всего с недельным опытом работы. Тем более, перед поездкой на первом поезде произошла

подмена машиниста по чисто бытовым проблемам, что добавило трудностей при последующих событиях.

Указанный светофор SN109 имел системное качество, его красный свет был трудно различим многими машинистами, в особенности, в утренние часы, против солнца, и за период 1995–1999 годы на нем произошло 8 незапланированных остановок составов, прошедших на красный свет. Внутрикабинная сигнализация, помогающая машинисту учитывать проход проезда на красный свет ради остановки, чаще всего отключалась машинистами, как привычная, и они, при случайном проезде на красный свет, реагировали только на дополнительную информацию диспетчеров, о чем не знал ни первый (опытный, но подмененный) машинист, ни второй (малоопытный). Проехав на красный свет светофора SN109 на выезде с вокзала, второй поезд автоматически перешел через стрелку на четвертый путь, по которому навстречу двигался первый поезд на станцию Паддингтон. Диспетчеры при этом просто не успели отреагировать на перевод стрелок после светофора SN120 на пути первого состава.

В свою очередь, аварийное переключение стрелки на светофоре SN120 для первого поезда могло предотвратить катастрофу, но поезд ее проехал по четвертому пути и стал приближаться к месту аварии.

Следующие ошибки привели к катастрофе:

- отключенная машинная сигнализация в момент проезда на красный сигнал светофора SN109;
- солнечные блики заслонили светофор, и машинист не видел красного сигнала;
- после неправильного проезда второго состава, диспетчерская служба ошибочно перевела его на четвертый путь, по которому уже двигался навстречу первый поезд;
- диспетчер не успел зажечь красный на светофоре SN120 перед первым составом, зная, что по этому пути уже движется второй поезд, и не успел перевести стрелки после этого светофора (оставалось только наблюдать);

– неопытность машиниста второго поезда не позволила ему принять самостоятельное решение.

После визуального контакта оба машиниста пытались включить систему экстренного торможения. Но, при суммарной скорости 210 км/час это уже никак не могло повлиять на ситуацию. Наступила невозвратная ситуация [10].

Графическая последовательность событий или событийный ряд представлены на рис. 9.4. Обратим внимание на временные параметры модели.

Очевидно, что авария произошла как следствие цепочки взаимосвязанных событий, и риск столкновения двух поездов из минимального нулевого в период времени $t_1=8^{07}$ утра, возрос до максимального единичного в момент времени $t_2=8^{11}$ утра в связи с рядом допущенных ошибок технического и человеческого характера. Перечень и последовательность таких событий отражена в таблице 9.6. Здесь пронумерованы все значимые события в независимости от их параметрического наполнения.

В результате 5 октября 1999 года в $t_3=8^{12}$ утра произошло столкновение двух составов с пассажирскими вагонами, в результате которого из суммарного количества 554 пассажира 227 были госпитализированы, а 31 человек погиб.

Важным здесь является время от прохождения первым поездом переводной стрелки на четвертом пути до перехода на этот путь после светофора SN109 второго поезда. Это так называемая точка невозврата, после которой уже никакие события не могли убрать реальный риск столкновения двух поездов. Этот минимальный интервал (время невозврата) равен $\delta\tau=t_3-t_2=8^{12}-8^{11}=1$ мин. В этом интервале риск аварийного события уже был равен 1. Авария стала неминуемой.

В таблице выделены 15 системных событий (S), предшествовавших аварии, из них 4 функциональные события, связанные с субъективными человеческими факторами, а также события, ориентированные на практику возможных аварий такого типа на этом участке дороги (без буквенного обозначения).

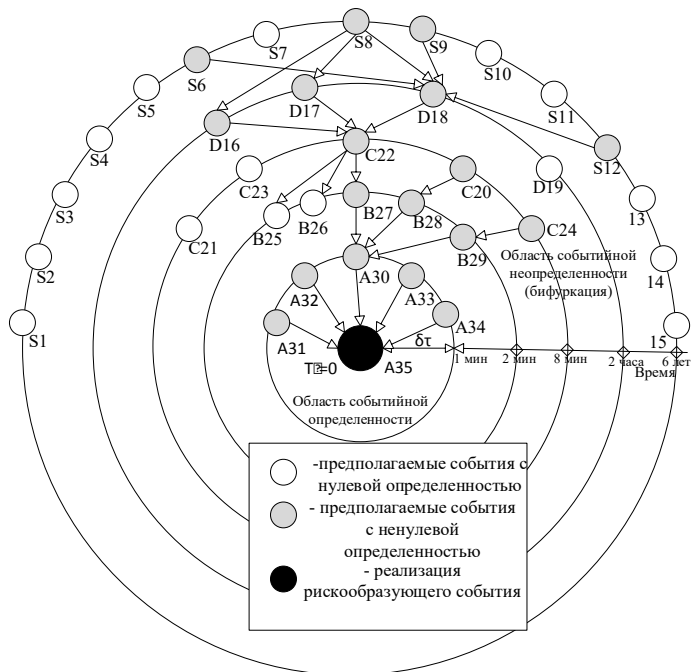


Рис. 9.4 — Графическая интерпретация событий, приведших к Паддингтонской аварии

Причина аварии кроется в ранее невозможном сочетании событий, таких, как, например, S8 — недостаточная опытность машиниста второго поезда и одновременное S9 — затруднение видимости светофора SN109 ранним утром при встречном солнце, привычное для опытного машиниста и неожиданное для человека без опыта; S12 — произвольное отключение предупредительной сигнализации в кабине машиниста и B28 — растерянность диспетчерской службы перед нештатной ситуацией, связанной с проездом второго состава на IV встречный путь. Или более дальние по времени события, связанные с изменением статуса инфраструктуры железных дорог, не отремонтированной в свое время и попавшей в частные руки — S1, а также неграмотное обновление парка светофоров — S5.

Таблица 9.6 — Таблица соответствия событий в модели Паддингтонской аварии

Обозначение	Метка NS	Суть события
S1	x_1	Объявленная приватизация железных дорог
S2	x_2	Право управления ж/д инфраструктурой от частного монополиста «Рэйл Трэйн»
S3	x_3	Необходимость в плановых ремонтах железных дорог
S4	x_4	Отказ от ремонта ж/д сетей вокзала в Паддингтоне компанией «Рэйл Трэйн»
S5	x_5	Установка новых светофоров с автоматическим оповещением машинистов
S6	x_6	Отсутствие системной проверки светофоров
S7	x_7	Профессиональные действия опытного машиниста (8 лет стажа)
S8	x_8	Профессиональные действия менее опытного машиниста (неделя стажа)
S9	x_9	Системная плохая видимость светофора SN109 на выезде из Паддингтона
S10	x_{10}	Вынужденное движение на красный свет при подъезде к светофору SN109
S11	x_{11}	Системные остановки поездов в районе SN109 по команде поездной автоматики
S12	x_{12}	Привычка машинистов к срабатыванию поездной сигнализации на светофоре SN109
...13	...	Всего за период с 1995 по 1999 годы было 8 остановок поездов на светофоре SN109 в Паддингтоне
...14	...	1995 — проезд через SN109 в Паддингтоне на красный свет. Поезд остановили за 100 м от светофора
...15	...	1997 — красный светофор в Саутолле, авария IC 139 ранены, 7 погибших. 130 км/час
D16	x_{13}	Вынужденная подмена квалифицированного машиниста перед поездкой
D17	x_{14}	Отсутствие опыта работы в аварийных ситуациях для машиниста второго поезда

Обозначение	Метка NS	Суть события
D18	x_{15}	5.10.99 — утро, солнце затрудняет видимость светофора SN109 на выезде из Лондона
D19	x_{16}	6.03 — начало движения первого поезда на Лондон (в Паддингтон)
C20	x_{17}	7.57 — приближение первого поезда пути к вокзалу Паддингтон по IV пути
C21	x_{18}	7.54 — подготовка к отправке поезд из Паддингтона
C22	x_{19}	8.06 — начало движения поезда из Паддингтона по III пути
C23	x_{20}	8.07 — желтый сигнал на светофоре SN109 для второго поезда
C24	x_{21}	8.07 — автоматический сигнал в кабине машиниста отключен и не срабатывает
B25	x_{22}	8.09 — красный свет второму поезду на светофоре SN109 не виден из-за солнца
B26	x_{23}	8.09 — второй поезд проезжает светофор SN109
B27	x_{24}	8.11 — автоматический перевод второго поезда на IV путь (навстречу первому)
B28	x_{25}	8.11 — диспетчер не успевает включить красный свет перед первым поездом
B29	x_{26}	8.11 — прохождение первым поездом стрелки IV пути после светофора SN120
A30	x_{127}	8.11 — точка невозврата.
A31	x_{28}	8.12 — столкновение поездов
A32	x_{29}	8.12 — механические разрывы баков с горючим
A33	x_{30}	8.12 — искрообразование при столкновении и трении металла о металл
A34	x_{31}	8.12 — взрывы баков с горючим
A35	Y_1	8.12 — факт аварии
...	...	...
O36	Y_0	Отсутствие аварии

Постфактум разбирать такие события и их причинно-следственные связи уже не является делом благодарным. Такие аварии должны становиться основой для более радикальных профилактических и прогностических действий, связанных с поиском путей нахождения таких способов, которые при любых вариантах исходных событий любого ранее существовавшего отрезка времени, не давали бы оснований для наступления подобной «точки невозврата».

Нейронная сетевая модель Паддингтонской аварии.

Вернемся к задаче о риске повторения Паддингтонской трагедии. Она может звучать так.

«Найти отображение образов событий, предшествовавших Паддингтонской трагедии, которые составят непрерывный ряд с фактическими причинно-следственными связями, и однозначно могут привести к обозначенной катастрофе, либо однозначно не приводят к означенной аварии».

То есть, мы осознанно ориентируем решение задачи только к двум результатам: авария произойдет ($Y_1=0$) или авария исключается ($Y_0=0$). Мы приходим к бинарному отображению собственного субъективного ожидания от перечня событий, связанных во времени с некоторой энергетикой внешнего действия на границе между неопределенностью и вполне определенными состояниями системы, которые либо могут, либо не могут привести к реализации рискового события. В полном соответствии с заявленным определением понятия «риск».

Модель нейронной сети может быть настроена с ориентацией на события, сопровождавшие уже случившуюся аварию. Согласно анализу (см. табл. 9.6) таких событий было 36. Однако, события имеют возможность как повторяться, так и быть совершенно иными, но тем не менее, приводить к реализации риска. Модель нейронной сети, при условии ее качественного обучения на большом количестве событий, тем хороша, что она способна простым перебором вариантов указать не только на реальные, но и на потенциальные механизмы приведения системы в аварийное

состояние. То есть, из состояния риска, равного нулю, в состояние риска, равное единице.

Построим такую сеть, состоящую из первых (S)15 входных сигналов, предшествующих аварии (см. табл. 9.6). Добавим к ним те события, которые обозначены в таблице текущими буквами D, C, B, A и которые непосредственно предшествовали аварии. В процессе аналитического исследования могут появиться и другие потенциальные события, способные повлиять на конечный результат в данной задаче (табл. 9.7). Зафиксируем в качестве выхода NS параметры $Y_1=(1, 0)$ и $Y_0=(1, 0)$. Законченный параметрический ряд для входных сигналов построить практически невозможно из-за огромного разброса данных об этих сигналах и их содержания. Например, весьма трудно оценить одинаковыми параметрами такие события, как S1 — приватизацию железных дорог и S8 — обучение молодого машиниста, C21 — подготовку к отправке состава и S6 — отсутствие системной проверки светофоров, и т.д. Поэтому такие задачи подлежат решению только в объеме заданных входных сигналов, то есть предварительно обозначенных внешних событий. Тем не менее, применение нейронных сетей позволяет обрабатывать методом подбора любое количество входных сигналов и применять для этого любое удобное число синапсов и их нейронов в скрытой части модели, чем позволяет нивелировать указанный выше недостаток.

В качестве общего параметра для таких сигналов проще всего избрать факт наличия или отсутствия влияния данного сигнала на конечный результат, то есть обозначить их в параметрах 1 или 0. Иная значимость таких параметров может быть оценена только в процессе обучения NS — «*back propagations*». В качестве весового коэффициента такой входной параметр может принимать значение либо нуль, либо единицу. При этом задавать весовой коэффициент, равный нулю, противоречит условиям задачи потому, что нулевое значение обозначает отсутствие этого сигнала. Например, наиболее примеряемая активационная функция *ReLU* не воспринимает нули в качестве инициализации. Это же относится к многим другим подобным функциям. Поэтому такой

коэффициент принимается в масштабе порога активации $h=0,005$. В процессе обучения сети этот параметр может смещаться по шкале в пределах этих цифр и даже выше, но уже при этом не являясь однозначным параметром события.

Таблица 9.7 — Перечень возможных дополнительных событий, не учтенных в предварительном анализе, но способных обеспечить риск в модели Паддингтонской аварии, и их причины для учета в нейронной сети

Обозначение	Суть события
37	Спонтанный выход из строя сигнального и стрелочного оборудования
38	Спонтанный выход из строя поездной автоматики предупреждения
39	Случайные ошибки поездной бригады, машиниста
40	Ошибки диспетчерской службы
41	Забастовки обслуживающего персонала и подмена менее квалифицированным из них
42	Диверсия
...	...

Для управления риском в данном случае принимаем пяти-синапсную модель нейронной сети (рис. 9.5). Число нейронов в каждом из пяти синапсных слоев выбирается исходя из логики перемещения сигналов. Лимитирующим здесь становится даже не число входных сигналов в сети, а их неопределенность, а также вариабельность в процессе эксплуатации такой сети. Например, первый синапсный слой имеет дело с 42 внешними входными сигналами. При показанных 8 нейронах первого скрытого слоя решающая система должна иметь возможности выбора из 336 вариантов событий. Далее, ко второму синапсу их число возрастает до 13824 вариантов событий, и так далее. При этом каждый последующий синапс должен иметь рациональное сочетание нейронов, меньшее, чем в предыдущем скрытом слое, чтобы решение задачи не было избыточным.

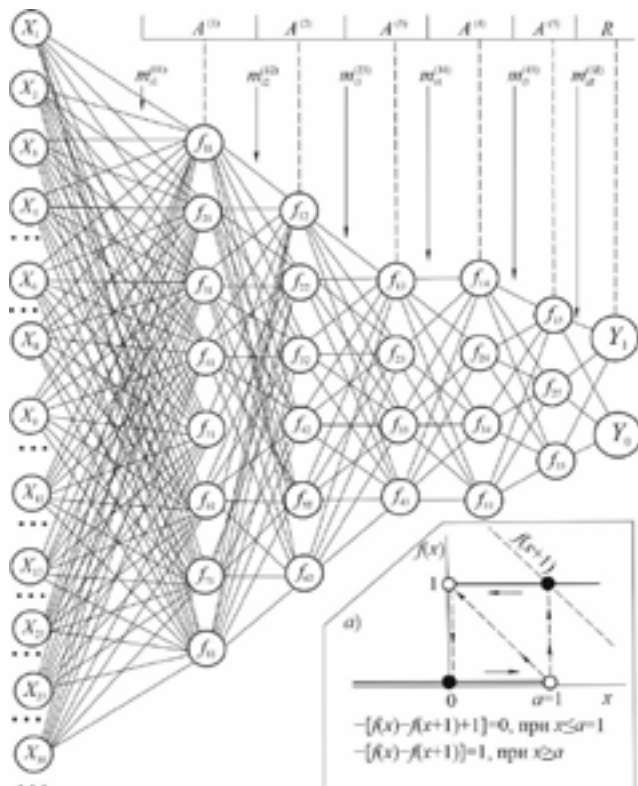


Рис. 9.5 — Модель пятисинапсной нейронной сети NN для прогнозирования и профилактики потенциальных рисков, связанных с Паддингтонской аварией

Первый скрытый слой синапсов в модели NN состоит из нейронов, поставим отвечающими за поведение и событийность, связанную с инфраструктурой системы (неподвижные элементы — пути, стрелки, светофоры, диспетчеры). Предпочтение сигналов зависит от сочетания весовых коэффициентов m_{i1}^{01} от каждого входного сигнала к каждому нейрону «обученного» первого слоя. Второй скрытый слой включает синапсы, нейроны которых в модели настроены на образность событий подвижных частей системы (поезда, машинисты, их подготовка, автоматические

системы оповещения в кабинах поездов, подвижная видимость светофоров). Система предпочтений в этом слое определяется коэффициентами, обозначенными в системе обучения, как m_{i2}^{12} . Третий и четвертый синапсные слои представлены возможностями для сопоставления между сигналами первого и второго слоев с целью их согласования на предмет образности и сочетания наиболее активных из них в зависимости от сочетания коэффициентов предпочтения образов сигналов m_{i1}^{01} и m_{i2}^{12} с коэффициентом m_{i3}^{23} , а также сочетания коэффициентов m_{i1}^{01} , m_{i2}^{12} и m_{i3}^{23} с коэффициентом m_{i4}^{34} по принципу

$$\max m_{i1}^{01} \cap \max m_{i2}^{12} \rightarrow m_{i3}^{23}, \text{ и} \quad (9.9)$$

$$\max m_{i1}^{01} \cap \max m_{i2}^{12} \cap \max m_{i3}^{23} \rightarrow m_{i4}^{34}. \quad (9.10)$$

И, наконец, пятый, итоговый скрытый слой синапсов зададим предназначенным для синхронизации активных сигналов двух предыдущих нейронных слоев с целью получения отношения сигналов двух групп нейронов (I и II слоев) к выходным параметрам модели Y_1 или Y_0 , как итог работы всей части скрытых слоев нейронной модели по условию

$$\max m_{i3}^{23} \cap \max m_{i4}^{34} \rightarrow m_{i5}^{45} \text{ и} \quad (9.11)$$

$$\max m_{i3}^{23} \cap \max m_{i4}^{34} \cap \max m_{i5}^{45} \rightarrow m_{iR}^{5R}. \quad (9.12)$$

Вторым условием выбора для скрытых слоев активации является вид собственно функции активации для нейронов каждого слоя. Учитывая высокую степень неопределенности между всеми видами входных сигналов и отсутствие для них единообразного параметрического ряда, по которому их можно однозначно оценивать, в качестве функции активации $f(x)$ нейронов синапсов выберем бифуркационную зависимость удвоенного учетного периода за счет количества и неопределенности содержания учетных показателей, влияющих на получение конечного результата. Входные сигналы для такой функции, по указанным выше причинам имеют весовые коэффициенты, выбираемые в виде бинарных отношений $m_i = [0; 1]$. Они должны отображаться

в функциях активации таким образом, чтобы отображения этих функций для последующих синапсов также были понятны в виде бинарных отношений. В данном случае удобно пользоваться зависимостью бифуркационного характера (см. рис. 9.5, а) типа

$$\begin{cases} -[f(x) - f(x + 1) + 1] = 0, & \text{если } x \leq a \\ -[f(x) - f(x + 1)] = 1, & \text{если } x \geq 0 \end{cases} \quad (9.13)$$

которая легко просчитывается в *ReLU* по общему правилу:

$$\begin{cases} f(x) = -[-1 - (-1 + 1)] = +1, & \text{при } x = -1 \\ f(x) = -[0 - (0 + 1)] = +1, & \text{при } x = 0 \\ f(x) = -[-1 - (-1 + 1) + 1] = 0, & \text{при } x = -1 \\ f(x) = -[0 - (0 + 1) + 1] = 0, & \text{при } x = 0 \end{cases}$$

Первоначальная бинарность отображения весовых коэффициентов входных сигналов и функций активации в процессе обучения сети может отклоняться от значений 1 и 0, терять смысл бинарности, так как каждый синапсный слой изначально несет в себе ошибку назначения для любого входного сигнала. В условиях неопределенности параметров входных сигналов это может давать достаточно большие отклонения между исходными значениями весовых коэффициентов и их откорректированными значениями. Тем не менее, такие весовые коэффициенты при переходе от бинарности к численным значениям не теряют своего содержания, как «память» *NN*.

Решение такой задачи упрощается тем, что на выходе модели следует ожидать всего один бинарный сигнал: выходная функция принимает значение либо единицы Y_1 , либо нуля Y_0 , в зависимости от прогнозируемого результата — авария или ее избежание.

При создании подобной модели воспользуемся возможностями открытой библиотеки программ с надстройкой *keras*, а также библиотечным ресурсом *MLOps* на платформе *TensorFlow* [11, 12, 13]. Инструментарий машинного обучения *Comet* на платформе языка *Python* в данном случае совместим с существующими *ML*-библиотеками и позволяет работать с кодированными параметрами, метриками в направлении прогнозирования выходных сигналов. Тем

более, что в составе инструмента *Comet* существуют необходимые для нас наборы интеграционных функций для синаптической базы данных, что упрощает их согласование с другими программными инструментами *Machine Learning*. Такие инструментарии являются удобными и не требуют дополнительных или специальных инструментов и фреймворков. Существующие отличия *MLOps*-пайплайн для каждой команды в зависимости от особенностей самой модели отрасли, где она применяется, несколько снижают области приложения таких обученных моделей, что иногда затрудняет решение задач, в составе которых присутствуют неопределенные данные о системе, в частности, бифуркационные функции. Это не единственное узкое место таких программ.

В связи с большим разбегом данных для многообразия входных сигналов процедура обучения *NN* «*back propagation*» в данной модели потребовала достаточно большого числа итераций, в ходе которых ошибка активации уменьшалась очень слабо, всего на 3–8% после каждого итерационного шага. В данном случае итерационная мощность процедуры обучения типа «*back propagation*» потребовала от 14 до 25 итераций.

В дальнейшем это покажет на слабость модели в случае, если к ней присоединяются новые неизвестные входные сигналы (то есть неучтенные ранее события). Недостаток модели заключается в слабом восприятии новой информации (так называемые модели одной направленности), что требует при каждой новой совокупности входных сигналов ее перенастройки и нового обучения (табл. 9.8).

Исходные данные для системы обучения *NN* следующие:

- порог активации модели принимается для отказных решений $h_{Y_0}=0,005$ для утвердительных решений $h_{Y_1}=1,000$;
- параметр ожидаемого результата во всех случаях $D=12$;
- шаг сходимости по алгоритму «*back propagation*» $\lambda=0,0001$;
- заданная поисковая ошибка сети $\varepsilon_{\text{зад}}=0,0025$.

Корректировка весовых коэффициентов входных сигналов в данном случае осуществляется методом градиентного спуска по формуле

Таблица 9.8 — Параметры устойчивости обучающего периода для нейронной модели Паддингтонской аварии

Номер и мощность синапса	Число итераций <i>n</i>	Фактическая поисковая ошибка, $\epsilon_{\text{факт}}$	Суммарная погрешность весовых коэффициентов при каждой из <i>n</i> итераций, %							
			1	2	3	4	5	6	...	25
1	8	0,00337	128,31	105,12	92,60	77,46	34,55	42,99	...	5,857
2	6	0,00295	69,18	68,54	71,05	32,86	33,22	27,48	...	4,142
3	4	0,00311	54,11	36,12	37,43	33,79	25,25	22,62	...	2,911
4	4	0,00261	41,09	42,48	44,51	11,12	11,77	5,55	...	0,110
5	3	0,00245	29,21	26,47	14,92	9,51	3,44	2,59	...	0,050

$$\begin{aligned} m_{ji}^b(n+1) = \\ = m_{ji}^b(n) + \lambda \cdot e_i(n) \cdot y_i(n) \cdot \varphi'_b(v_i(n)), \end{aligned} \quad (9.14)$$

где n — порядковый номер итерации; e_i — ошибка вычисления $(\sum (y - \bar{y})^2)$; y — выходное значение нейрона на n -м этапе итерации; φ'_b — производная промежуточной n -й внутренней активационной функции $f(x)$, если только она не последняя. Второй член уравнения — это поправка к весовому коэффициенту на $(n+1)$ -м этапе итерации.

Назначение и корректировочные значения весовых коэффициентов внутреннего активационного слоя получаются следующим образом

$$m_{ji}^b(n+1) = m_{ji}^b(n) - \lambda \frac{\partial E(n)}{\partial m_{ji}(n)}, \quad (9.15)$$

где $m_{ji}^b(n)$ — весовой коэффициент на предыдущем этапе итерации.

При этом весовые коэффициенты, как носители «памяти» нейронной сети, претерпевают значительные изменения (см. табл. 9.8).

Несмотря на существенный разброс данных по корректировке весовых коэффициентов и требуемую для этого мощность итераций (до $n=25$ шагов), итоговый порог активации модели при ее обучении соответствует заданной суммарной погрешности весовых коэффициентов $h_{Y_0}=0,005$, ($h_{Y_1}=1,000$), что свидетельствует о работоспособности такой системы. Фактическая поисковая ошибка модели также не превышает заданной $\epsilon_{\text{факт}}=0,00245 < \epsilon_{\text{зад}} = 0,0025$.

Результаты работы NN заданной конфигурации по определению возможных аварий в системе железнодорожных перевозок на Большой Западной главной линии железных дорог Великобритании, в объеме заданных входных сигналов представлены в табл. 9.9. В первую очередь, обратим внимание на события, заканчивающиеся суммой выходных сигналов $Y_1, Y_0=[0, 1]$, то есть однозначное подтверждение условий, когда авария становится невозможной (табл. 9.10).

Таблиця 9.9 — Результати роботи NN в умовах заданих входних сигналів бінарного содержания (світлим цветом обозначены выходные функции системы, не приводящие к реализации риска, темным цветом обозначены выходные функции системы, однозначно приводящие к реализации риска)

x_i	$m_i^{(A)}$	$m_i^{(A)'}$	$f_i^{(1)}$	$f_i^{(2)}$	$f_i^{(3)}$	$f_i^{(4)}$	$f_i^{(5)}$	$Y_i; Y_0$
x_1	0,005	0,316	1,0902721	3,0454421	2,7798888	2,5455654	2,5405554	0; 0
x_2	1	0,516	4,3298578	2,7778752	4,1545567	4,2194489	4,1329321	0; 0
x_3	1	1,932	0,0001906	0,0001199	0,0001843	0,0001934	0,0001651	0; 1
x_4	1	1,873	0,5545567	0,9815545	1,1329185	0,9654705	0,9589579	1; 0
x_5	0,005	0,045	2,1186398	2,2988688	1,9823245	2,1184412	2,1524658	1; 1
x_6	1	1,695	12,3478122	10,8269352	9,0825580	10,1119111	9,7757794	1; 0
x_7	0,005	0,451	0,3845009	0,2569285	0,2321542	0,2778789	0,2545682	1; 1
x_8	1	1,777	0,0355483	0,0717111	0,0344444	0,0997683	0,0023617	0; 1
x_9	1	1,033	0,1734185	0,3274457	0,2254411	0,9184457	1,0124458	1; 0
x_{10}	1	0,774	35,2108235	22,7774602	19,7773759	17,1128290	15,3535550	0; 0
x_{11}	0,005	0,581	18,2548938	24,5545109	2,8759781	5,5564781	8,9997078	1; 1
x_{12}	1	1,163	0,2846008	0,3837915	0,4795554	0,7274222	1,0054123	1; 0
x_{13}	0,005	0,984	-	-	-	-	-	0; 0
x_{14}	1	0,269	-	-	-	-	-	0; 0

Продолжение табл. 9.9

x_i	$m_i^{(A)}$	$m_i^{(A)'}$	$f_i^{A(1)}$	$f_i^{A(2)}$	$f_i^{A(3)}$	$f_i^{A(4)}$	$f_i^{A(5)}$	$Y_i; Y_0$
x_{15}	1	1,759	-	-	-	-	-	0; 0
x_{16}	0,005	0,519	2,9455554	5,9476654	7,8112223	3,4565847	3,9898334	0; 0
x_{17}	1	1,823	0,1459093	0,1296777	0,0451612	0,9175258	1,0032774	1; 0
x_{18}	1	0,771	33,7777936	5,5489453	1,2356778	5,0098692	4,0091001	1; 1
x_{19}	0,005	0,031	25,0916666	31,4071045	13,7587555	12,9801421	12,2009689	0; 0
x_{20}	0,005	0,256	38,1104435	35,0931680	29,2128235	37,7278456	35,0091258	1; 1
x_{21}	0,005	0,011	24,1738907	25,0092721	13,1122456	47,2809492	29,1111693	0; 0
x_{22}	0,005	0,033	13,0167777	7,1765270	5,9167729	3,0008846	4,0155370	0; 0
x_{23}	0,005	0,718	1,2777416	0,8912121	0,5561141	1,5783436	1,5504704	1; 1
x_{24}	1	1,199	7,0810027	5,3914321	31,1545521	13,7778178	15,2893332	1; 1
x_{25}	1	1,558	2,7353359	2,1835583	1,8169480	1,2555500	0,0012889	0; 1
x_{26}	0,005	1,481	1,5482121	1,4802179	1,0930033	0,5569614	0,2255145	0; 0
x_{27}	1	1,092	7,1649267	3,1054471	5,7538122	1,4022045	0,0021009	0; 1
x_{28}	1	1,111	0,6899888	0,3501487	0,7772275	1,0087729	1,0882588	1; 0
x_{29}	0,005	1,589	7,5755116	9,2846554	5,9888567	6,1235556	6,0009912	1; 1
x_{30}	1	1,997	0,2548802	0,0917295	0,0146465	0,0922112	0,05511165	1; 1
x_{31}	1	1,310	0,9821495	0,64152169	0,2100123	0,0650721	0,0794431	1; 1

Окончание табл. 9.9

x_i	$m_i^{(A)}$	$m_i^{(A)'} $	$f_i^{A(1)}$	$f_i^{A(2)}$	$f_i^{A(3)}$	$f_i^{A(4)}$	$f_i^{A(5)}$	$Y_i; Y_0$
x_{32}	1	0,823	1,9619555	0,8829444	1,3494005	1,4309285	1,3502947	1; 1
x_{33}	1	1,448	4,6559554	3,9483687	4,0197592	5,4648789	4,2605704	1; 1
x_{34}	1	1,581	1,7754498	0,9501111	2,8804400	1,5609090	1,0542009	1; 0
x_{37}	1	0,786	4,3859026	6,9888290	3,2155555	2,1235514	2,2263451	1; 1
x_{38}	1	1,138	8,849314	9,1274563	8,92754326	7,3331007	7,3749816	1; 1
x_{39}	1	1,327	1,5758281	2,1095378	1,7395587	1,9845389	1,1221381	1; 1
x_{40}	1	1,126	0,4519482	0,45932276	0,49675254	0,44891321	0,42071603	1; 1
x_{41}	1	1,064	0,4581111	0,2100154	0,3841110	0,6547345	0,9810098	1; 0
x_{42}	1	0,555	7,2109008	6,5409119	6,2889629	6,92671123	6,5455000	0; 0

Таблица 9.10 — Матрица соответствий выходных сигналов ($Y_1; Y_0$) в модели нейронной сети с бинарным выходом

Класс соб.		Распознавание событийных образов	Состояние системы ($Y_1; Y_0$)
Y_1	Y_0		
0	0	Факта аварии нет, но и отсутствие аварии не подтверждается	Неопределенность
0	1	Факта аварии нет, но отсутствие аварии подтверждается	Отсутствие аварии
1	0	Факт аварии есть, и ее отсутствие не подтверждается	Авария
1	1	Факт аварии есть, но ее отсутствие подтверждается	Неопределенность

Это относится прежде всего к управлению входными сигналами x_3 и x_8 , а именно — актуальность своевременного ремонта всей железнодорожной инфраструктуры, а также допуск к управлению поездами только высококвалифицированных машинистов. Для этих параметров исходная функции бифуркации минимизирована $\min f_3^{A^{(5)}} = 0,0001$ и $\min f_8^{A^{(5)}} = 0,0023$ соответственно. То же относится ко входным сигналам x_{25} и x_{27} — своевременное восстановление видимости ключевого светофора SN109 при солнечной погоде и своевременный обратный перевод стрелки с 4-го на 3-й путь для второго поезда. Об этом свидетельствует достижение минимального значения параметра функции активации только к пятому синапсу ($\min f_{25}^{A^{(5)}} = 0,00128$) и ($\min f_{27}^{A^{(5)}} = 0,0021$) соответственно.

События x_4 и x_6 также оставляют возможности для ухода от аварийной ситуации, но их функция суммарной активации на последнем синапсе в размере 0,9589 и 9,7757 соответственно превышают порог активации модели и поэтому не могут учитываться в качестве значимых. Для учета таких событий в модели требуются дополнения другими не учетными событиями. Но при этом модель должна переобучиться, что относится к ее недостаткам.

Безусловно, нас интересуют входные сигналы в модели, которые однозначно приводят к реализации рисков при заданной структуре входных сигналов. Они представлены в таблице 9.11.

Таблица 9.11 — Потенциальные рискообразующие события в условиях заданных входных сигналов для модели нейронной сети Паддингтонской катастрофы (при условии $\max f_i^{A(5)} \rightarrow 1$)

x_i	$Y_1; Y_0$	$\max f_i^{A(5)}$	Содержание паттерна
x_9	1, 0	1,0124	Системная недостаточная видимость светофора SN109 на выезде из Паддингтона
x_{12}	1, 0	1,1054	Привычка машинистов к срабатыванию поездной сигнализации на SN109
x_{17}	1, 0	1,2032	Отсутствие опыта работы в аварийных ситуациях для машиниста второго поезда
x_{28}	1, 0	1,1882	Задержка диспетчером включения красного света перед первым поездом
x_{34}	1, 0	1,1542	Наличие полных баков с горючим без дополнительной защиты от детонации
x_{41}	1, 0	0,82109	Забастовки обслуживающего персонала и подмена менее квалифицированным из них

В заданном объеме информации, содержащейся во входных событиях, наиболее актуальными для реализации образов рисков событий являются подтвержденные ошибки машинистов при работе с сигнальными системами в кабине машиниста, неграмотная установка светофора SN109, привлечение к управлению поездом людей с недостаточным опытом, спонтанные ошибки диспетчерских служб в нештатных ситуациях, отсутствие защитного оборудования на топливохранящих емкостях, а также другие не учетные события, которые могут повлиять на работу системы железнодорожных перевозок в данной местности. Такие выводы можно сделать и без моделирования

с нейронными сетями. Тем более, что это относится к пост-фактумному анализу.

Но есть еще профилактика и прогнозирование рискообразующих событий с целью недопущения подобных ситуаций.

Доходчивость результатов работы *NN* без анимационных возможностей в текстовых рассуждениях несколько проблематична, тем более что они весьма разнообразны. Но конечные результаты можно оценить достаточно высоко при профилактике рискообразующей системы и рекомендовать ее выводы обслуживающему персоналу.

Модель показала, что предварительное исключение хотя бы одной, любой из возможных ошибок в рамках траектории S8-D16(D17(D18))-C22-B27-A30-A35 не привело бы к реализации образа рискообразующего события (см. табл. 9.9). Здесь модель выдает в качестве профилактического событие S3, что вполне очевидно, либо событие S8, которое связано с предварительными работами по подготовке машинистов и не всегда объединяется с возможными рисками специфического происхождения. Но такие результаты могут подтверждаться и визуально (см. рис. 9.4), что только подчеркивает правильность работы *NN*.

А вот на траектории S12-D18-C22-B27-A30-A35 уже потребовалось исключение двух возможных ошибок ради минимизации риска, что является более сложным заданием для обычной профилактики, и без моделирования далеко не всегда может проявиться. А если учитывать сочетания событий S3 и S5, которые изначально рассматривались нами как предполагаемые с нулевой определенностью, но в модели *NS* они становятся рискообразующими (см. табл. 9.9), то результаты, выданные моделью при визуальном контроле этой траектории, вообще невозможно выявлять, как предполагаемые, без моделирования.

Самые главные ошибки в системе, которые приводят к реализации риска, были связаны с событиями в области событийной неопределенности (бифуркации, см. рис. 9.4), а именно, B27, B28, B29 и предшествующими им C20, C22, C24. Учет таких логистических цепочек позволяет обеспечивать профилактику риска

либо на ранних значимых временных отрезках, либо в моменты, предшествующие появлению событийной неопределенности, которая в нашем случае называется «точкой невозврата».

Вызывает интерес обозначенная моделью NN и отсутствующая на схеме (см. рис. 9.4), последовательность событий $S6(S9(S12))-D18-C22$ -[бифуркация], связанная с работой светофоров и привычно пассивной реакцией на их сигналы со стороны машиниста в яркое солнечное утро. Эта зависимость однозначно приводит к событийной неопределенности (бифуркации сигналов в скрытых синапсах системы), заключающейся в потере диспетчером контроля за последовательностью событий и отсутствием у него каких-либо упреждающих действий. Следствием этого является неподготовленность диспетчерского персонала и его главная ошибка, которая могла бы со 100-процентной вероятностью предотвратить реализацию риска. Такой результат предоставляет нам модель, вопреки обозначенным нами причинно-следственным событиям (см. рис. 9.4). Логическая интерпретация этой цепочки событий полностью укладывается в известный сценарий произошедшего.

В конечном результате нейронная сеть никак не пропускает в качестве значимых сигналы x_{10} и x_{19} , и x_{21} , имеющие аномально низкие весовые коэффициенты относительно первоначальных, а также сугубую неопределенность функций $f_{10}^{A(5)}$ и $f_{19}^{A(5)}$ и $f_{21}^{A(5)}$ на выходе системы: факта реализации образа рискообразующего события не может быть, но и отсутствие риска не подтверждается (0, 0).

Функциональную определенность иного вида сопровождают сигналы x_{20} и x_{24} с аномально низкими весовыми коэффициентами относительно исходных. Их содержание при прохождении сигнала через все пять синапсов неизменно высокое и явно неопределенное: факт реализации образа рискообразующего события существует, но и при этом подтверждается его отсутствие (1, 1). Такое объяснение не является логичным и NS его отвергает значениями обученных весовых коэффициентов для этих сигналов. Для других подобных результатов модель показывает примерно

одинаковые весовые коэффициенты, что свидетельствует об их равноправном участии в NN .

Профилактика подобных аварий при помощи нейронных сетей должна сводиться к автоматическому отслеживанию образов потенциальных рискообразующих событий, заложенных в обученную NN , и предупреждение хотя бы одного или двух из отслеживаемых, согласно результатам работы модели в активном режиме.

Следует отметить, что такая модель NN может быть полезна не только для условий Большой Западной главной линии железных дорог Великобритании, но для других систем, которые подчиняются тем же правилам эксплуатации, что в нашем примере. Безусловно, при соответствующем ее обучении.

9.3. Исследование рисков, связанных с роуп-джампингом

Еще один предмет для показательного анализа событийного риска свяжем с одним из наиболее экстремальных видов спорта — роуп-джампингом (прыжки с упругой веревкой или канатом). Его разновидность — баджи-джампинг, отличается способом окончания свободного полета и типом страховочного снаряжения. Относительно новые виды спорта являются весьма привлекательными для современной молодежи и не только. Мировые результаты по травматизму и гибели спортсменов достаточно впечатляют. Как правило, это травмы позвоночника, открытые переломы ног, разрывы внутренних органов и др. Если статистический риск гибели во время прыжков измеряется цифрой с пятью нулями после запятой, то статистический риск от травм составляет уже доли процента. На первый взгляд статистика не очень впечатляющая. Но это пресловутая статистика... В данном случае, здесь, как нигде в других случаях, высока роль единичного рискообразующего события. Прыгать могут сотни

людей, но один из них обязательно разобьется насмерть, а трое останутся калеками на всю жизнь. Статистикой этого не измеришь. Убедительным примером служит судьба родоначальника этого экстремального вида спорта, американского скалолаза Дена Османа, который на второй тысяче прыжков нашел свой конец, прыгая с трехсотметровой высоты.

Процедура прыжка включает несколько предварительных этапов подготовки страховочного снаряжения и подготовки джампера при участии инструктора, подъем на высоту джампа, предполетный инструктаж, и собственно полет, включающий два этапа. Первый состоит из свободного полета вниз, под действием силы тяжести тела джампера. Второй — начинается после достижения максимально низкого допустимого уровня падения и представляет собой полет вверх от нижней критической точки под действием реодинамических сил упругого каната, которые получают расчетным путем [14]. Колебательный вертикальный (баджи-) или горизонтальный (роуп-) процесс движения тела джампера заканчивается его принудительным подъемом на исходную высоту джампа. Основные виды опасностей и рискообразующий событийный ряд для этого вида спорта представлены в таблице 9.12.

Психологической основой такого спорта, безусловно, является потребность в адреналиновом выбросе, убежденности в подтверждении своего «эго», либо это просто встряска для психологического застоя организма. Это дает человеку ощущение решительности, способности преодоления страха, неуверенности. Почитатели этого вида спорта претендуют на способности к закаливанию нервной системы, приучению ее к экстремальным событиям, реализации возможностей выхода из жизненного тупика. В некотором смысле такие претензии имеют право на существование, но они не могут быть сравнимыми с риском получения травм, часто не совместимых с жизнью. В таком понимании этот вид спорта может приниматься как аналог парашютного, в том числе, свупа — скоростного спуска на парашюте, но с большей долей неоправданного риска. Состязаться с ним по силам только бейс-джампингу, уровень смертельных случаев в котором зашкаливает (с 1981 по 2013

годы 201 случай со смертельным исходом). Тем не менее, такой вид спорта существует, он имеет своих почитателей, является для них способом самовыражения, точно так же, как и парашютный и любой другой экстремальный вид спорта [15, 16].

Таблица 9.12 — Таблица соответствия событий в модели джампинга и в нейронной модели NN

Обозначение	Метка NN	Наименование рискообразующего события
S1	x_1	События на уровне изготовления бракованного снаряжения джампера
S2	x_2	Износ упругого канатного материала
S3	x_3	Запредельные механические нагрузки на стартовое оборудование
S4	x_4	Изначальный неправильный расчет длины веревки
S5	x_5	Топографические препятствия для прыжков
S6	x_6	Метеорологические условия
S7	x_7	Предел высоты падения
C1	x_8	Ошибки джампера перед стартом
C2	x_9	Ошибки инструктора на старте
C3	x_{10}	Ошибки джампера на старте
C4	x_{11}	Состояние здоровья джампера на старте
B1	x_{12}	Точка невозврата. Стартовый бросок джампера
B2	x_{13}	Свободное падение под действием силы тяжести джампера
B3	x_{14}	Торможение (точка равновесия силы тяжести и реодинамической силы)
B4	x_{15}	Реодинамическая деформация каната, возврат и покачивание джампера
A	Y_1	Факт аварии (травма или гибель джампера)
O	Y_0	Отсутствие аварии

Как следует из графической интерпретации событий, предшествующих и сопровождающих джамп-прыжок (рис. 9.6), здесь велика роль технических средств, снаряжения джампера, страховочного оборудования, медицинского состояния и многих других факторов и событий, сопутствующих джампингу.

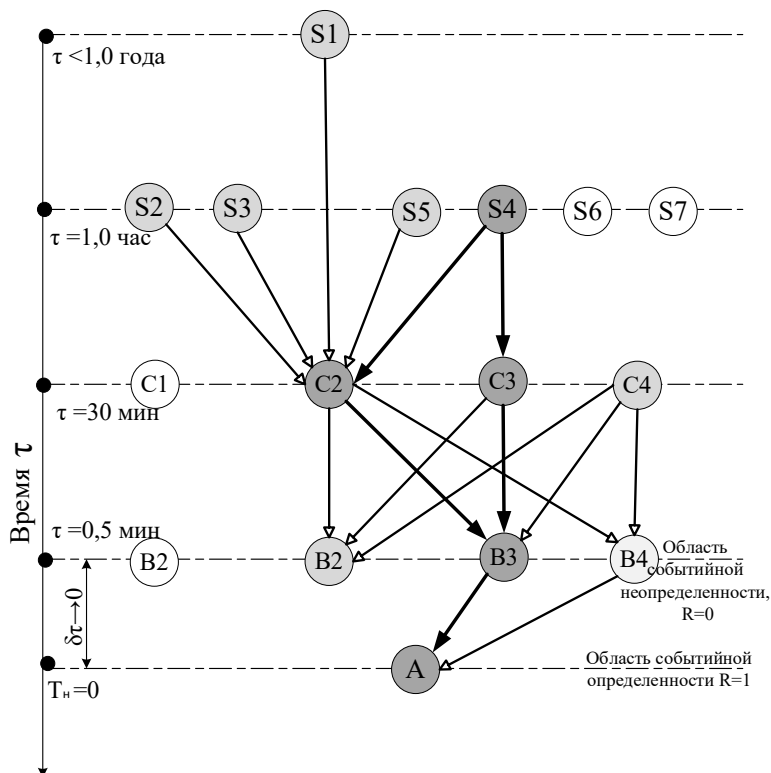


Рис. 9.6 — Графическая интерпретация событий, связанных с джампингом в общем его виде

Перед нами классический вид последовательности рискообразующих событий, ожидание которых способно привести только к двум из них. Либо реальный риск, как событие «А», связанное с реализацией последнего из событий (или их группы),

станет равным единице, или он будет равен нулю. Этим самым система приходит из состояния событийной неопределенности в состояние вполне определенного события (см. рис. 9.6), характеризующегося своим энергетическим содержанием, которое является источником повреждения для джампера.

Временные интервалы событийных уровней измеряются от достаточно больших значений, гипотетически связанных с изготовлением защитного снаряжения, до таких, которые расположены во временном интервале от момента прыжка («точка невозврата») до конечного события «А», происшедшего в условный момент времени $T_n=0$. Последний отрезок времени есть не что иное, как время δt , характеризующее то мгновение, в котором любое потенциальное рискообразующее событие становится либо реальным, либо вполне безопасным для джампера. Именно в этом промежутке времени решается судьба прыжка и происходит или не происходит реализация потенциального риска.

Наиболее простая и обобщенная модель нейронной сети с односторонними потоками сигналов, отображающая событийные процедуры джампинга, представлена на рис. 9.7.

Весьма удобно представить систему показанных рискообразующих событий в виде набора заданных входных сигналов (см. табл. 9.12) для некоторой модели нейронной сети одностороннего действия, выходом которой являются известные сигналы о реализации (Y_1) потенциального риска, либо его отсутствии (Y_0) в предполагаемой цепочке событий, предшествовавших им. Количество скрытых синапсных слоев и числа нейронов для выбранной модели определяется мощностью весовых коэффициентов входных сигналов, обозначим их как $m_{i0}^{(01)}$ ($i=1,1,15$), в сопоставлении с их скрытыми значениями в каждом последующем синапсном слое.

Инициализация входных весовых коэффициентов осуществляется по следующему правилу. В условиях, когда входные сигналы маркируются событиями с несопоставимыми параметрами, при выборе и задании весовых коэффициентов удобно пользоваться бинарной шкалой (0, 1). При этом задавать весовой коэффициент

ент, равный нулю, противоречит условиям задачи, потому что нулевое значение обозначает отсутствие этого сигнала. Например, наиболее примеряемая активационная функция $ReLU$ не воспринимает нули в качестве инициализации. Это же относится ко многим другим подобным функциям. Поэтому такой коэффициент принимается в масштабе порога активации $h=0,005$. Это обосновано тем, что процесс обучения нейронной сети основан на исходных заданиях в виде входных сигналов и на заданных функциях активации. Управляемым параметром при этом остается корректировка весового коэффициента в процессе обучения.

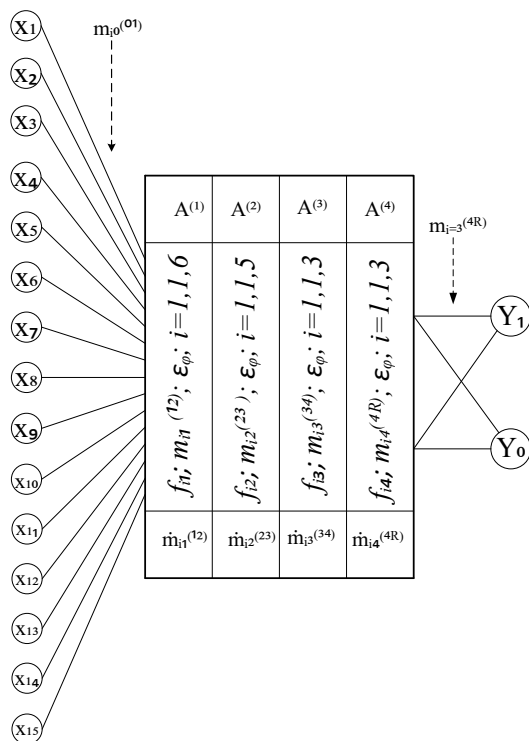


Рис. 9.7 — Модель четырехсинапсной нейронной сети NN для прогнозирования и профилактики потенциальных рисков, связанных со спортивным роуп-джампингом

Корректировка весовых коэффициентов входных сигналов в данном случае осуществляется методом градиентного спуска.

Априорно примем в качестве первого скрытого слоя (обозначим его как $A^{(1)}$), состоящего из $i=6$ нейронов с функциями активации последовательно f_{i1} , ($i=1,1,6$), синапсы, отвечающие за технологические условия работы системы, то есть те параметры, которые задаются изначально, например, длина каната, его упругость, высота прыжка, вид и возможности страховочного снаряжения, то есть то, что не связано непосредственно с прыжком и индивидуальными особенностями джампера. Весовые коэффициенты этого слоя обозначим как $m_{i1}^{(12)}$. Второй синапсный слой $A^{(2)}$ в количестве $i=5$ нейронов с функциями активации f_{i2} , ($i=1,1,5$) поставим ответным за управление сигналами, относящимися к чисто организационной стороне прыжка, а именно, предварительная подготовка оснастки, предпрыжковый инструктаж, возможности для поднятия его на высоту прыжка, ознакомление с джампом и др. Весовые коэффициенты этого скрытого слоя обозначим как $m_{i2}^{(23)}$. Третий синапсный слой $A^{(3)}$ состоит из трех нейронов, с функциями активации каждого f_{i3} , ($i=1,1,3$), отвечает за чисто субъективные сигналы и события, с которыми сталкивается система, в виде причинно-следственных отношений между джампером, инструктором и обеспечивающей системой, если такие появляются в модели. К ним могут относиться, например, скрытые причины медицинского характера, которые выявляются уже в процессе самого прыжка. Весовые коэффициенты здесь обозначены как $m_{i3}^{(34)}$. В скрытом синапсном слое предусмотрен еще один, четвертый синапс $A^{(4)}$, с функциями активации f_{i4} , ($i=1,1,3$) трех нейронов, которому полагается реагировать своими двоичными сигналами на возможные случайные сигналы (если таковые, по условиям задачи, появляются в модели) или спонтанно возникающие причинно-следственные связи, которые приводят к появлению новых входных сигналов, ранее не учтенных при программировании модели. Например, резкое изменение погоды, ветер, шквалы, появление на траектории прыжка незапланированных предметов, например, птиц. В этом

слое можно дублировать управление синапсными сигналами, связанными с внезапными изменениями состояния здоровья джампера во время прыжка. Весовые коэффициенты этого слоя обозначим как $m_{iR}^{(4R)}$, понимая под следующим открытым слоем R выход системы в виде сигналов (Y_1, Y_0).

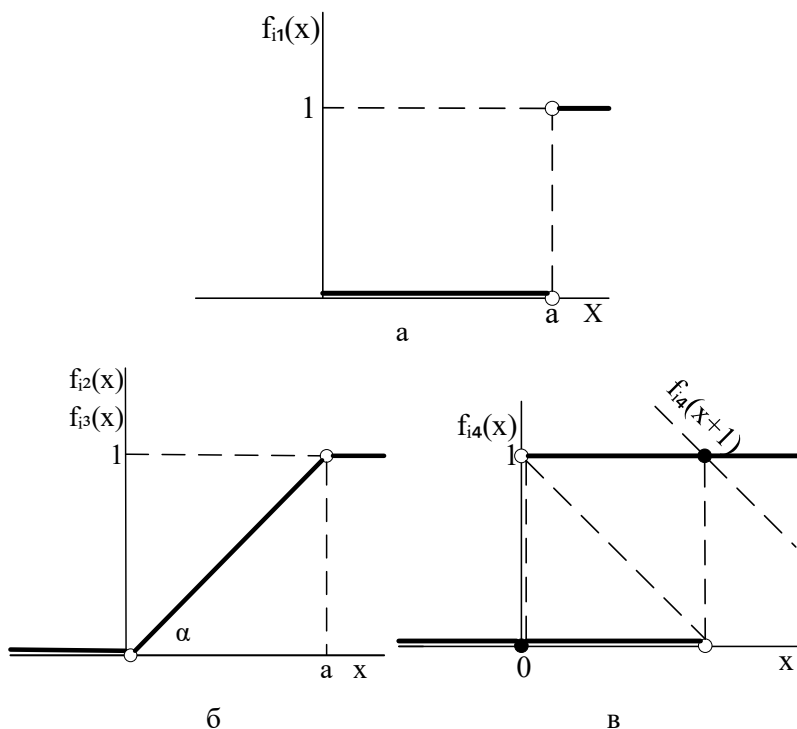


Рис. 9.8 — Обозначение функций активации для скрытых нейронных слоев в модели NS джампинга: а) пороговая функция активации нейронов; б) предельная функция активации; в) функция активации с неопределенными входными сигналами

Каждый из скрытых синапсных нейронных слоев имеет свои особенности с точки зрения присвоения им собственных функций активации. Решаемая задача отличается тем, что NN должна быть обучена простыми функциями активации на первом, техническом

этапе. Здесь в качестве функции активации нейронов принята (рис. 9.8, а) пороговая функция типа

$$f_{i1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \geq a \\ 0, & \text{если } x < a \end{cases} \quad (9.16)$$

Второй и третий слои заданы функциями активации (см. рис. 9.8, б) типа *ReLU* — *Rectified Linear Uni*, вида

$$f_{i2}(x) = \max(0, x). \quad (9.17)$$

А вот четвертый синапсный слой, призванный «справляться» со случайными и спонтанными входными сигналами в области их неопределенности, предложено описывать функцией бифуркации (см. рис. 9.8, в)

$$\begin{cases} -[f_{i4}(x) - f_{i4}(x + 1) + 1] = 0, & \text{если } x \leq a \\ -[f_{i4}(x) - f_{i4}(x + 1)] = 1, & \text{если } x \geq 0 \end{cases}$$

Следует отметить, что все эти активационные функции легко программируются в языке Python и отражены в библиотеках программ *Keras 2.3*, а программа бифуркационной функции активации использована автором на языке *Python* [6].

В процессе обучения («*back propagation*») весовые коэффициенты как входных сигналов, так и скрытых синапсных нейронных слоев могут иметь некоторые отличия от начальных, тем самым выделяя те из них, которые соответствуют актуальным событиям из числа определяемых. События неопределенные в модели и незначимые в ней, как правило, в процессе ее обучения имеют весовые коэффициенты, существенно отличающиеся от изначальных, что показывает на их неактуальность для правил работы заданной NN.

Алгоритм «*back propagation*» для выбранной нейронной структуры, представленной в матрице в виде входных сигналов x_i и функций активации нейронов f_{ij} (j – порядковый номер синапсного слоя), позволяет путем сопоставления выходного сигнала Y , получаемого прямым способом расчета, и выходного сигнала $\bar{Y}$, подлежащего корректировке, определить ошибку $\varepsilon(n)$ на n -м этапе итерации (здесь $n=11$), и изменить содержание

весового коефіцієнта на каждом скрытом синапсе таким образом, чтобы ошибка была минимизирована. Корректировка весов осуществляется в обратном направлении («*back propagation*»). В конечном результате, после осуществления таких проводок по всем нейронам, по всем наблюдениям, все ошибки сети суммируются: сумма квадратов ошибок показывает, насколько обучена нейронная сеть работе с новыми коэффициентами. Модель метода оптимизации принимаем из пакета «*Adam*». Такие программы наиболее практичны, они являются отработанными и готовы к применению в виде фиксированных пакетов *keras* [5].

На выходе нейронной сети NN можно получить двоичный сигнал (Y_1, Y_0), или «да — нет», что показывает на реализацию или нет тех рискообразующих событий или их сочетаний, которые могут привести к аварии или нет (табл. 9.13). Область реализации — это переход событий из состояния событийной неопределенности к вполне определенному событию.

Таблица 9.13 — Учетные состояния событийных классов в модели простейшего нейрона

Класс события		Распознавание событийных образов	Состояние систем ($Y_1; Y_0$)
Y_1	Y_0		
0	0	Факта аварии нет, но и отсутствие аварии не подтверждается	Неопределенность
0	1	Факта аварии нет, но отсутствие аварии подтверждается	Отсутствие аварии
1	0	Факт аварии есть и ее отсутствие не подтверждается	Авария
1	1	Факт аварии есть, но ее отсутствие подтверждается	Неопределенность

Модель настраивается на группу потенциальных опасных событий, которые сопровождают всю систему. Число событий может быть изменено, если будет видна существенная значимость ранее не учтенных из них для модели (об этом в преддверии

обучения модели можно судить по измененным весовым коэффициентам входных сигналов).

Факторы неопределенности (синапс $A^{(4)}$) проявили себя в 7 вариантах входных сигналов из 15 заявленных (табл. 9.14), что показывает на достаточность выборки учетных событий. Изначальные значения весовых коэффициентов претерпели определенные, но отличающиеся изменения (корректировку), а поскольку они несут в NN функции памяти нейронов, то их значения оказывают определяющее значение на конечный результат прогнозирования. Мы можем сразу отбросить из анализа 6-й и 11-й входные сигналы, как изначально не корректные, судя по их запредельным корректировочным коэффициентам, и обратим внимание на входные сигналы x_9 и x_{10} , а именно, ошибочные действия двух субъектов на старте — инструктора и джампера. Их весовые коэффициенты мало изменились по сравнению с заданными, несмотря на объективную неопределенность результатов их действий перед джампом. К этим входным сигналам примыкает еще сигнал x_{14} — точка перехода от свободного этапа полета к другому, упругому.

Именно эти три входа x_9 , x_{10} , x_{14} связаны с наиболее важными событиями, которые чаще всего могут привести к конечной реализации риска. Они характеризуются высокой связностью весовых коэффициентов и низким значением фактической ошибки при обучении и тестировании системы. Но, даже и эти три события, при их анализе, не всегда равнозначны. Если первые два события, а именно, ошибки инструктора или джампера перед стартом, еще могут быть устранены при помощи других уточняющих событий (их весовые коэффициенты показывают на это), и корректировка весовых коэффициентов внутри синапсов в данном случае достаточно последовательная, она почти не зависит от уровня неопределенности (внутренний синапс $A^{(4)}$). То состояние с входным сигналом x_{14} и событие, связанное с переходом от одной фазы прыжка к другой, имеет несколько иную предпосылку. Прежде всего это событие запрограммировано после прохождения «точки невозврата», а это значит, что такой сигнал уже не подлежит уточнению или изменению в рамках потенциальных событийных рисков.

Таблица 9.14 — Основные параметры работы нейронной сети применительно к задаче о рисках в роул-дзампинге

Метка NN	$m_{i0}^{(01)}$	Рисковая ошибка сети, $\varepsilon_{\Phi}, \%$		$A^{(4)}$	$A^{(3)}$	$A^{(2)}$	$A^{(1)}$	$m_{i0}^{(01)}$	Выходной сигнал*	
		Корректировка весовых коэффициентов на этапе «back propagation»								
обучение	тест	$\Delta m_{i0}^{(43)}$	$\Delta m_{i0}^{(32)}$	$\Delta m_{i0}^{(21)}$	$\Delta m_{i0}^{(10)}$	Y_1	Y_0			
x_1	0,005	35,1	24,2	+0,2379	+0,0182	+0,0025	-0,2511	0,0125	-1	-1
x_2	1,0	15,8	23,7	-	+0,8463	-0,1652	-1,4454	0,2357	+1	+1
x_3	0,005	18,9	16,6	-	+0,2976	-0,2349	-0,0094	0,0583	-1	+1
x_4	1,0	16,1	8,8	-	-0,4041	-1,2385	+1,6458	1,0032	+1	+1
x_5	0,005	11,9	12,2	-	-0,2759	+0,3965	-0,1235	0,0021	-1	+1
x_6	1,0	54,1	37,8	-4,686	+24,1191	+1,5423	+6,7777	28,754	+1	+1
x_7	1,0	28,7	18,8	-	-0,0154	-0,2 NN 315	-0,5412	0,2119	-1	-1
x_8	1,0	16,7	14,6	-	-0,2526	-0,7254	+0,1225	0,1445	+1	+1
x_9	1,0	9,8	8,9	+0,1417	+0,1234	+0,3150	+0,4124	1,9925	+1	-1
x_{10}	1,0	5,4	3,2	+0,1513	+0,1009	+0,0177	+0,0251	1,2950	+1	-1
x_{11}	1,0	69,9	46,4	+23,641	+29,004	-0,9548	+11,725	64,415	-1	+1
x_{12}	1,0	28,2	11,9	-0,2299	+0,3121	+0,0155	+0,0014	1,0991	+1	+1
x_{13}	0,005	10,8	15,5	-	-0,0896	+0,0236	+0,1615	0,1005	-1	-1
x_{14}	1,0	9,5	8,4	+0,0004	+0,0009	+0,0080	+0,0063	1,0156	+1	-1
x_{15}	1,0	36,9	29,1	-	+1,2109	-0,0034	-1,5454	0,6681	+1	+1

Окончание табл. 9.14

№ п/п	Нормативные показатели		
1	Число входных сигналов	15	
2	Число выходных функций	2	
3	Число наблюдений	114	
4	Логическое описание класса событий	Класс Y_I (истина)	Класс Y_0 (ложь)
5	Число заданных образов для каждого класса	$N=3$	
6	Порог активации	$h=0,005$	
7	Параметр смещения линии разделения	$b=1$	
8	Параметр ожидаемого результата	$D=2$	
9	Шаг сходимости алгоритма « <i>back propagation</i> »	$\lambda=0,005$	
10	Заданная поисковая ошибка сети	$\varepsilon=0,01$	

* — учетное состояние выходных сигналов в модели NN представлены в табл. 9.13.

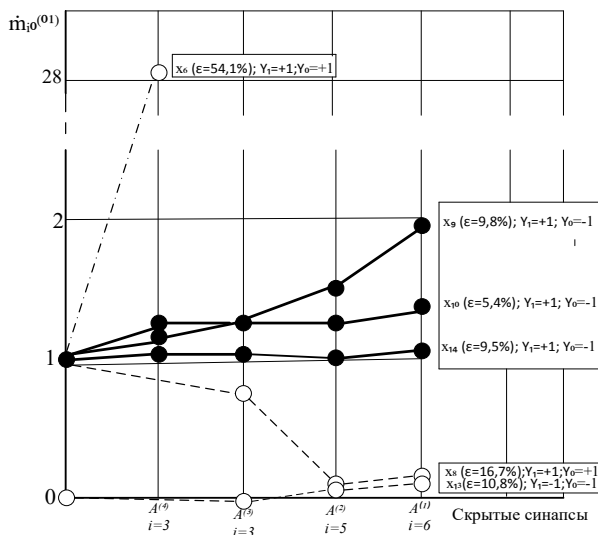


Рис. 9.9 — Залежність вагових коефіцієнтів входних сигналів від конфігурації скритих синапсів в моделі NN роуп-джампінга

Аналогічні показателі мають результати навчання мережі по сигналу x_{12} , подія точки невороту. Воно також має строгою прив'язку до початкового значення вагового коефіцієнта, але при більшому розбросі даних в процесі корективки і більшій погрешності на етапі навчання. Результатом таких досліджень можуть бути лінійки подій, які найбільш ефективно приводять до очікуваних ризиків до реальних, в певний проміжок часу $\delta t \leq 30$ с. До них відносяться формули (см. табл. 9.12) $S4 \rightarrow C2 \rightarrow B3 \rightarrow A$ і $S4 \rightarrow C3 \rightarrow B3 \rightarrow A$. Формули однотипні і включають в обов'язковий порядок або помилки інструктора на старті, або помилки джампера на старті, які проявляються в момент зупинки, тобто досягнення стану механічного рівноваги між двома основними етапами стрибка. Решта подій, що відбувалися і супроводжують джампінг, є не головними в ризикобудуванні. Цими формулами безпосередньо відсікається та частина подій, яка пов'язана з довгостроковими причинами. Основна частина ризиків,

согласно указанным отношениям, связана с рискообразующими событиями предстартовыми или послестартовыми, то есть они непосредственно связаны с джампингом. Это не означает исключения таких событий из анализа, что можно уточнить данными исходных заданных для них весовых коэффициентов.

Изучая работу нейронных сетей в качестве механизма определения рисков на данном примере обратим внимание на сущность весовых коэффициентов для входных сигналов. Они изначально определяются эмпирическим путем самим пользователем. Затем весовые коэффициенты претерпевают определенные уточнения в процессе обучения *NS* («*back propagation*»). Затем при помощи весовых коэффициентов, играющих роль памяти в *NS*, ранжируются входные сигналы и их группы в зависимости от их значимости при прохождении последовательно через скрытые слои нейронных синапсов, заложенных в модели. Таким образом подтверждается значимость весовых коэффициентов для тех или иных событий. Для решаемой задачи, в качестве примера (рис. 9.9), обратим внимание на размеры уточненных весовых коэффициентов для сигналов, соответствующих событиям, указанным в формулах:

- $S4(x_4): \dot{m}_{40}^{(01)} = 1,0032$ при ошибках $\epsilon_{\phi 4}$ обучения 9,8% и тестирования 8,9%;
- $C2(x_9): \dot{m}_{90}^{(01)} = 1,9925$ при ошибках ($\epsilon_{\phi 9}$) обучения 5,4% и тестирования 3,2%;
- $C3(x_{10}): \dot{m}_{100}^{(01)} = 1,950$ при ошибках ($\epsilon_{\phi 10}$) обучения 5,4% и тестирования 3,2%;
- $B3(x_{14}): \dot{m}_{140}^{(01)} = 1,0156$ при ошибках ($\epsilon_{\phi 14}$) обучения 9,5% и тестирования 8,4%.

Весовой коэффициент фактически показывает степень влияния конкретного сигнала и связанного с ним рискообразующего события на всю систему. Поэтому уточнение или корректировка этих коэффициентов связаны с динамикой изменения весовых коэффициентов, а значит — с динамикой влияния тех или иных сигналов на конечный результат. В процессе обучения *NS* каждый из ее нейронов в зависимости от его функции активации

«приспосабливает» каждый из входных сигналов, таким образом, чтобы на выходе системы получалась однозначная величина выходного сигнала. Иногда весовые коэффициенты приобретают запредельные значения, что свидетельствует о том, что либо неправильно подобрана функция активации нейронов конкретного скрытого синапсного слоя, либо размеры влияния входного сигнала, в процессе обучения, не отвечают заданным нормативным показателям. Тем более, такие параметры будут искажать общую картину поведения NN во время ее тестирования и работы.

Для сравнения, остальные уточненные в процессе обучения весовые коэффициенты входных сигналов либо представлены запредельными значениями, выходящими за рамки принятых нормативов в модели NN , либо имеют достаточно высокий разброс по ошибкам обучения, что делает их менее актуальными с точки зрения их рискообразующих возможностей (см. рис. 9.9). Например, это относится к сигналам x_6 ($\dot{m}_{60}^{(01)} = 28,754$) при ошибке на этапе обучения в $\varepsilon_{\phi 60} = 54,1\%$, или x_{11} ($\dot{m}_{110}^{(01)} = 64,415$) при ошибке обучения в $\varepsilon_{\phi 110} = 69,9\%$.

Таким образом, основной риск в джампинге исходит от субъективных действий двух человек — джампера и инструктора и проявляется наиболее активно в предельной фазе полета, а именно, при переходе от свободного падения к реодинамическому движению тела джампера. Модель NN позволяет самостоятельно, в процессе обучения и тестирования, отсекал те потенциальные рискообразующие события, которые в конкретной ситуации не способны привести к реализации заложенного в них риска, и останавливать внимание на событиях, гарантированно приводящих к реализации реального риска.

9.4. Опыт прогнозирования рисков, связанных с механическими повреждениями костной ткани человека, с применением рекуррентных нейронных сетей

В качестве еще одного примера применения *RNN* для систем с большим количеством неопределенных параметров может служить костная система человека и риски, связанные с ее механическими повреждениями. Если не углубляться в подробную классификацию видов повреждения костных тканей в организме человека, то можно остановиться на рисках двух типов, которые сопровождают такие повреждения:

- растяжения в суставных тканях и костных сочленениях R_1 ;
- многочисленные виды переломов костей скелета R_2 .

Подобные повреждения костных тканей возможны в результате приложения к ним определенных видов механических усилий (табл. 9.15).

Всего в организме человека сосредоточено более 206 костей, которые мы разбили на шесть условных групп. Практически каждая из них может получать деформации, например, в виде трещины, или путем перелома, или смещением в суставе, или за счет вогнутой деформации. За типизацией внешних событий, способных быть причиной механического нарушения костных тканей, находится огромное количество случайных факторов, которые ответственны за многообразие событий, которые сопровождают человека как рискообразующие.

Причин травмирования костей человеческого скелета много, и число событий, сопровождающих эти травмы, и их состояний бесконечно. Поэтому, риски, связанные с костным травматизмом, на первый взгляд, могут быть отнесены к нераспознаваемым. Существующие статистические методы оценки таких рисков, как, например, производственных, спортивных, или бытовых, относятся к постфактумным, основанным на статистике случаев, произошедших в прошлые периоды времени. Они относятся к понятию вероятности. Именно поэтому такие оценки рисков вызывают определенные критические замечания.

Таблица 9.15 — Типичные причины и способы механического повреждения элементов костной системы человека

№ п/п (k)	Обобщенные костные группы	Характер механического воздействия		Физическое явление, как причина нарушения целостности костной ткани человека	Сопровождающие внешние типовые события
		Вид	Функция f_{ij}		
$k = 1$	Кости черепа	Удар, (X_1)	f_{12}	Контакт с препятствием высотой h (инертное падение). Контакт с телом, обладающим потенциальной или кинетической энергией. Человек, обладающий кинетической или потенциальной энергией. Трение скольжения	Падение с высоты. Падение перед препятствием. Удар движущегося тела.
$k = 2$	Верхний плечевой пояс и позвоночный столб	Давление, (X_2)	f_{22}		Потеря устойчивости для всей системы, Скольжение нижней конечности
$k = 3$	Грудная клетка				
$k = 4$	Тазовые кости	Изгиб, (X_3)	f_{32}	Возникновение момента сил с плечом l относительно произвольной точки тела человека (инертное движение) в результате давления (удара). Защемленная консоль. Одно- или двусторонне защемленная кость	Потеря устойчивости скелета. Инертное движение костной системы. Оказание давления на кость с защемленными концами, Кручение защемленной конечности
$k = 5$	Верхние конечности				
$k = 6$	Нижние конечности	Кручение, (X_4)	f_{42}		

Элементы костной структуры человека, являясь функционально и упруго взаимосвязанными, как правило, подвергаются одновременно нескольким возможным рискам механического воздействия самого различного вида. В результате страдают одновременно самые различные группы костей. Например, при мгновенной потере устойчивости могут пострадать одновременно не только кости ног, но и рук, суставы, как результат опоры при падении, тазовые кости при деформации кручения, и даже элементы позвоночного столба, также при кручении или ударе от падения. Или, например, механический прямой удар, наносимый по костям черепа, может сопровождаться инерциальной деформацией шейных позвонков и т.д.

Поэтому, модель для прогнозирования рискообразующих событий при помощи сети RNN , в отличие от примера с Римскими акведуками, носит характер *many to many*. То есть, реакция сети на несколько входных сигналов сопровождается появлением одновременно нескольких выходных сигналов R_{12}^N .

Модель RNN для такой системы представлена на рис. 9.10. Основным ее отличием является состояние входных сигналов двух типов: устойчивые сигналы, которые можно предусматривать, как прогнозируемые события, и случайные входные сигналы, прогнозируемость которых весьма низкая. Такие группы входных сигналов подаются на вход первого синапса, состоящего всего из двух нейронов. Функция активации первого из них — это пороговая функция (binary step function), а вторая — функция бифуркации, которая предназначена для фильтрации именно группы случайных сигналов.

Весовые коэффициенты входных сигналов в такой их интерпретации являются крайне неопределенными, поэтому проще всего дать им нормированные исходные значения $m_{i0} = \{1, 0,0001\}$. Тем более, что в процессе обучения «*back propagation*» уточненные значения этих коэффициентов примут также значения $\dot{m}_{i,j=0} = \{1, 0,0001\}$, только в иной последовательности.

Всего модель имеет три скрытых синапсных слоя, первый из которых отвечает за систематизацию случайных сигналов Y_p ,

второй с функцией активации f_{i2} ($i=1,1,4$) и весовыми коэффициентами $m_{i2}^{(23)}$ отвечает за распределение сигналов между четырьмя способами воздействия на систему — удар, давление, изгиб и кручение. Обобщенную активационную функцию для таких нейронов примем в виде гиперболического тангенса $f_{i,j=2}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$.

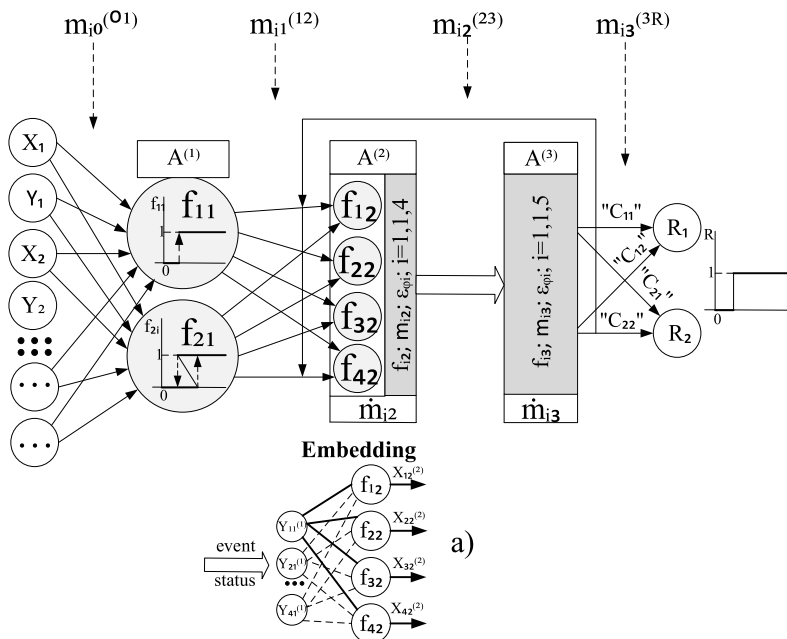


Рис. 9.10 — Общая модель RNN сети для прогнозирования рисков для костной системы человека: а) модель *Embedding*-синапса

А третий из скрытых синапсных слоев в модели предназначен для структуризации выделенных на этом этапе сигналов по принципу «истина — ложь» для тех событий, которые можно квалифицировать как рискообразующие либо нет. Функция активации такого скрытого нейронного слоя, удобная для программирования сети, — это *ReLU* (*Rectified Linear Unit*). Для второго и третьего синапсов сформирована двойная обратная связь по принципу

DT-RNN (Deep Transition RNN) (рис. 9.11), предусматривающая корректировку устойчивых входных сигналов $X_{i1}^{(1)}$ и фиксированных случайных сигналов $Y_{p1}^{(1)}$ в модели *RNN*. Их уточненные весовые коэффициенты на каждом ϕ -м шаге итерации по процедуре обратной связи *DT-RNN* — $\dot{m}_{i1}^{(12)}$.

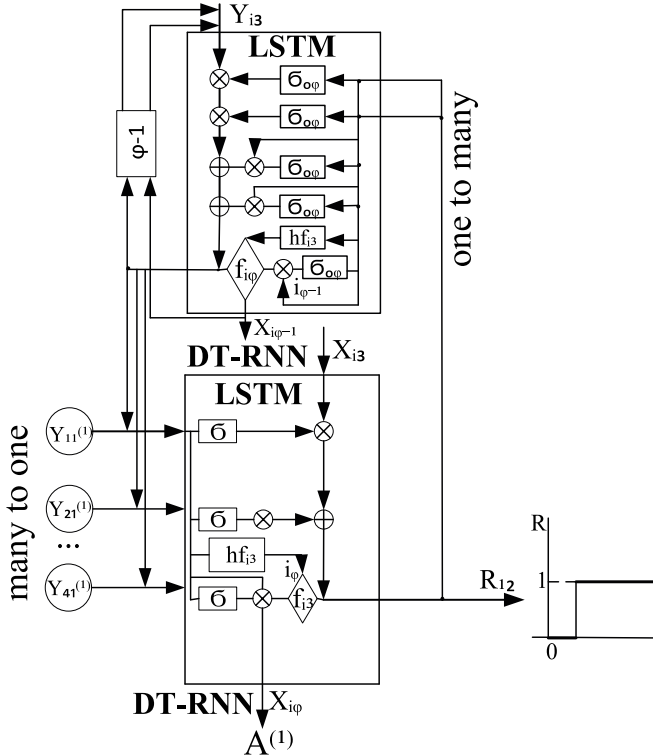


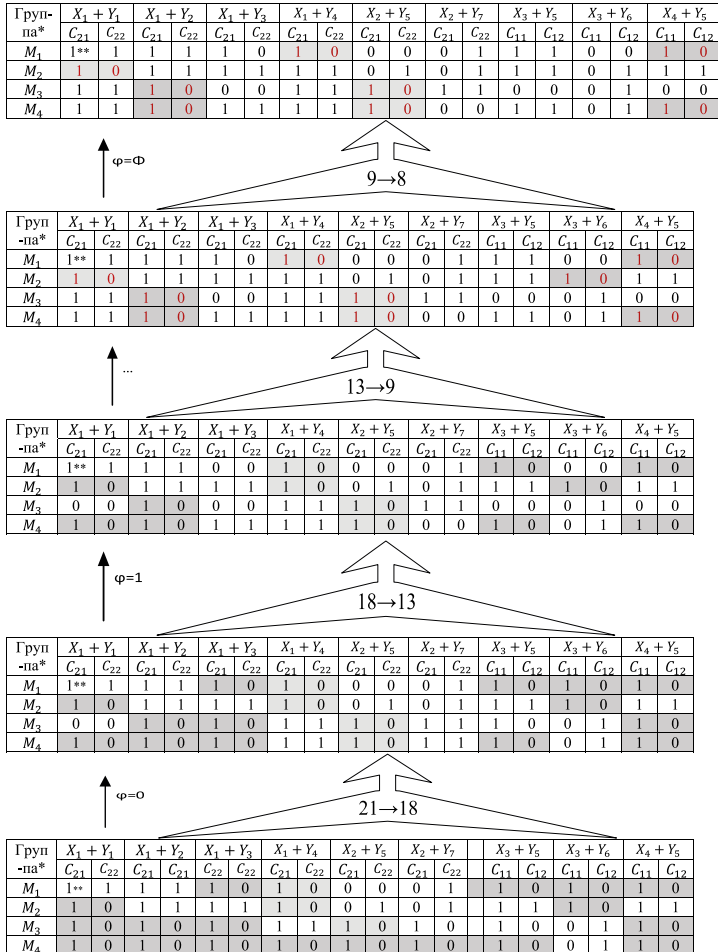
Рис. 9.11 — Фрагмент модели *RNN* с обратной связью *Deep Transition RNN* для финишного синапса с выходом на прогнозируемые риски R_1 и R_2

В начале работы сети со случайными входами в качестве скрытого синапсного слоя используется *Embedding*-слой, благодаря которому осуществляется вербальное преобразование текстового содержания Y_i -го события (*event*) или его состояния

(*status*) в вектор конкретного размера, присвоение которого отражает его контекст в языке представления (рис. 9.10, а). Такой слой осуществляет связь между машинным и человеческим языком восприятия случайных объектов анализа. Он легко программируется в библиотеке *keras*. Размеры и геометрические соотношения векторов входных данных — это количество возможных событий (i) и их состояний, закладываемых в каждом из скрытых синапсов (j) модели, и описываемых при помощи метрик косинусного сходства $similarity(i, j) = \frac{i \cdot j}{|i| \cdot |j|}$. Выходные данные — следствие рискообразующих событий, которые приводят к негативным результатам — одному из указываемых видов травм. В качестве примера множества случайных событий, сопровождающих травмы костей, примем следующие (табл. 9.16).

Таблица 9.16 — Выборка случайных событий, связанных с механическими повреждениями костной ткани человека

№ п/п	Наименование случайного события	Код входного сигнала, Y_p	$m_{i0}^{(01)}$
1	События, связанные с преодолением горизонтального препятствия	Y_1	1
2	События, связанные с резким снижением коэффициента трения о поверхность пересечения	Y_2	1
3	События, связанные с падением твердых предметов с высоты на человека	Y_3	1
4	События, связанные с неровностями на поверхности пересечения	Y_4	1
5	События, связанные с защемлениями костной ткани между жесткими поверхностями	Y_5	1
6	События, связанные с приложением длительного усилия на кость как на защемленную с двух сторон балку	Y_6	1
7	События, связанные с консольным способом подъема тяжестей конечностями человека	Y_7	1



* — возрастные группы в исследовании: M_1 — возраст до 20 лет; M_2 — возраст от 21 до 40 лет; M_3 — возраст от 41 до 60 лет; M_4 — возраст от 61 до 80 лет.

** — учетные состояния C_{pq} событийных классов в модели RNN согласно табл. 9.13.

Рис. 9.12 — Фрагменты расчетных данных относительно потенциальных рисков, связанных с механическим воздействием на костную систему, для разных групп населения

На рис. 9.12 представлена условная матрица событий, которые могут иметь место в рассматриваемой системе на каждом ф-м шаге итерации. С каждым шагом итерации в модели *RNN* исчезают потенциальные риски, как не типичные для отдельных возрастных категорий. Итоговые результаты прогнозирования наиболее типичных рисков для человека, связанных с механическим воздействием на костную систему, представлены в таблице 9.17.

Таблица 9.17 — Итоговые данные для прогнозирования преимущественных рисков травмирования костной системы человека по возрастным категориям

Возрастная категория, годы	Преимущественные риски от совокупных событий
M_1 (0 ÷ 20)	$X_1 + Y_4$; $X_4 + Y_5$. Перелом костей от удара при преодолении неровностей на поверхности пересечения, а также вывих суставов от скручивания при их защемлении
M_2 (21 ÷ 40)	$X_1 + Y_1$. Перелом костей, связанный с ударом при преодолении горизонтальных препятствий
M_3 (41 ÷ 60)	$X_1 + Y_2$; $X_2 + Y_5$. Перелом костей, связанный с ударом о горизонтальную поверхность при скольжении тела, а также в результате оказания давления на кость при ее защемлении
M_4 (61 ÷ 80)	$X_1 + Y_2$; $X_2 + Y_5$; $X_4 + Y_5$. Перелом костей, связанный с ударом о горизонтальную поверхность при скольжении тела, а также в результате оказания давления на кость при ее защемлении. Вывих суставов в результате скручивания костей при их защемлении

В следующем исследовании исходная модель рекуррентной нейронной сети может быть уточнена, например, за счет включения в нее событий, связанных со спецификой механического воздействия на конкретные группы костей по их классификации (см. табл. 9.15). Такие дополнения требуют не только уточнения конфигурации нейронной сети, но и дополнительного обучения

«*back propagation*», рассчитанного на иную конфигурацию и число состояний системы и уточнения весовых коэффициентов каждого скрытого синапсного слоя согласно дополнительной информации.

Основной вывод, следующий из таких исследований, заключается в глубокой индивидуальности реальных рисков, связанных с нарушением целостности костной системы человека, которая определяется набором входных сигналов для *RNN* и возможностями обучения «*back propagation*» модели нейронной сети, когда в нее закладываются основные и случайные события, сопровождающие человека.

Рассмотрим вариант, при котором на вход подаются сигналы о состоянии различных групп костной системы. Изменим обозначения входных сигналов с учетом классификации, представленной в табл. 9.15, следующим образом (табл. 9.18). Выборка случайных событий Y_p , связанных с механическими повреждениями костной ткани человека, представлена в табл. 9.16.

Таблица 9.18 — Входные сигналы для модели *RNN* с учетом классификации костных групп в теле человека

№	Метка, X_{ki}	Обозначение входного сигнала
1	X_{11}	События, связанные с травмами костей черепа
2	X_{12}	События, связанные с травмами позвоночного столба
3	X_{13}	События, связанные с травмами костей грудной клетки
4	X_{14}	События, связанные с травмами тазовых костей
5	X_{15}	События, связанные с травмами верхних конечностей
6	X_{16}	События, связанные с травмами нижних конечностей
7	X_{21}	События, связанные с нанесением удара
8	X_{22}	События, связанные с оказанием равномерного давления на кость
9	X_{23}	События, связанные с изгибом кости
10	X_{24}	События, связанные с кручением кости

Опуская вычислительные процедуры и их оперативный анализ, покажем результаты анализа наиболее адаптированных к предложенным условиям рисков механического повреждения, относящегося к отдельным группам костей.

В предложенном случае модель RNN выдала в общей сложности 24 варианта сочетаний рискообразующих событий с потенциальным риском. Мы выбрали только 14 из них, чтобы продемонстрировать возможности нейронной сети данной конфигурации. Примем следующие обозначения, относящиеся к группам сопоставимых рискообразующих событий, которые нам предоставляет сеть RNN для предварительного учета:

$$\begin{array}{lll}
 -H_1 = X_{11} + X_{21} + Y_1; & -H_6 = X_{14} + X_{21} + Y_2; & -H_{11} = X_{16} + X_{21} + Y_1; \\
 -H_2 = X_{11} + X_{21} + Y_2; & -H_7 = X_{14} + X_{21} + Y_4; & -H_{12} = X_{16} + X_{21} + Y_2; \\
 -H_3 = X_{11} + X_{21} + Y_3; & -H_8 = X_{14} + X_{21} + Y_1; & -H_{13} = X_{16} + X_{24} + Y_5; \\
 -H_4 = X_{12} + X_{24} + Y_2; & -H_9 = X_{15} + X_{21} + Y_1; & -H_{14} = X_{16} + X_{24} + Y_2. \\
 -H_5 = X_{13} + X_{21} + Y_2; & -H_{10} = X_{15} + X_{21} + Y_2; &
 \end{array}$$

Такие группы объединяют далеко не все виды событий, связанные с механическими воздействиями на костный скелет человека. Сеть способна найти еще более 10 таких групп для последующего анализа, например: $X_{15} + X_{21} + Y_3$, $X_{16} + X_{21} + Y_3$, $X_{15} + X_{22} + Y_6$, $X_{16} + X_{22} + Y_6$, $X_{15} + X_{23} + Y_6$, $X_{15} + X_{23} + Y_7$, $X_{16} + X_{21} + Y_3$, которые более точно характеризуют иные риски связанные с травмами верхних и нижних конечностей, или, например, риски травмирования позвоночника — $X_{12} + X_{23} + Y_4$ и $X_{12} + X_{23} + Y_2$, многие другие.

Всего рассматриваемая нейронная сеть после ее нового обучения «*back propagation*» и корректировки весовых коэффициентов в скрытых синапсах осуществляет четыре ф-шага итерации, в результате которых по стандартному алгоритму уточнения весовых коэффициентов и отбрасывания наименее активных из них, мы приходим к решению задачи. На рис. 9.13 фактически изображена трехмерная матрица в координатах $(X_{ij} \wedge Y_p; T; \varphi)$. На каждом последующем ф-м шаге итерации в матрице $(X_{ij} \wedge Y_p; T)$ отсекается та часть потенциальных рискообразующих событий, которые, по мнению нейронной сети, являются менее предпочтительными для каждого возрастного состава, в пользу событий

остающихся. В конечном результате мы приходим к данным, обозначенным в табл. 9.19, как итоговым.

Таблица 9.19 — Итоговые данные для прогнозирования преимущественных рисков травмирования костной системы человека по возрастным категориям

Возрастная категория, годы	Преимущественные риски от совокупных событий
M_1 (0 ÷ 20)	Травмы рук H_{10} или ног H_{14} при падении на скользкой поверхности
M_2 (21 ÷ 40)	Ударные травмы рук H_9 или ног H_{11} при преодолении горизонтальных препятствий, а также травмы ног H_{13} при их защемлении
M_3 (41 ÷ 60)	Черепные ударные травмы H_2 , травмы позвоночника H_4 , а также травмы ног H_{12} , связанные с падением на скользкой поверхности
M_4 (61 ÷ 80)	Травмы тазового пояса ударного характера, связанные с падением на скользкой поверхности H_6 , либо с движением по неровной поверхности H_7 , а также ударные травмы верхних конечностей H_{10} при скольжении

Мы опять встречаемся с ситуацией, когда наиболее опасные риски связаны с несколькими событиями, в том числе, случайными, появление которых весьма ситуативно, а их роль в последовательности событий, приводящих к реальному риску, достаточно высока.

Не исключая варианты других травмоопасных событий, нейронная сеть выдает преимущественные риски, связанные с движениями человека по скользким поверхностям, причем почти независимо от возраста (см. табл. 9.19). В каждой из «взрослых» групп населения наиболее реальными являются три вида рисков, которые взаимно связаны причинно-следственными связями, и возможно, это показывает на то, что такие риски становятся более реальными при значительно большем количестве случайных входных событий, чем то, что показано

в данном решении. Такие структурированные решения могут появляться в сети *RNN* на уровне ее высокой сложности и взаимосвязанности их причинных качеств. Возможны варианты, когда одни и те же события связываются с различными состояниями самой системы, что, безусловно, добавляет число входных сигналов, а если принимать во внимание случайность некоторых из них, то задача становится еще более сложной, но более конкретизированной.

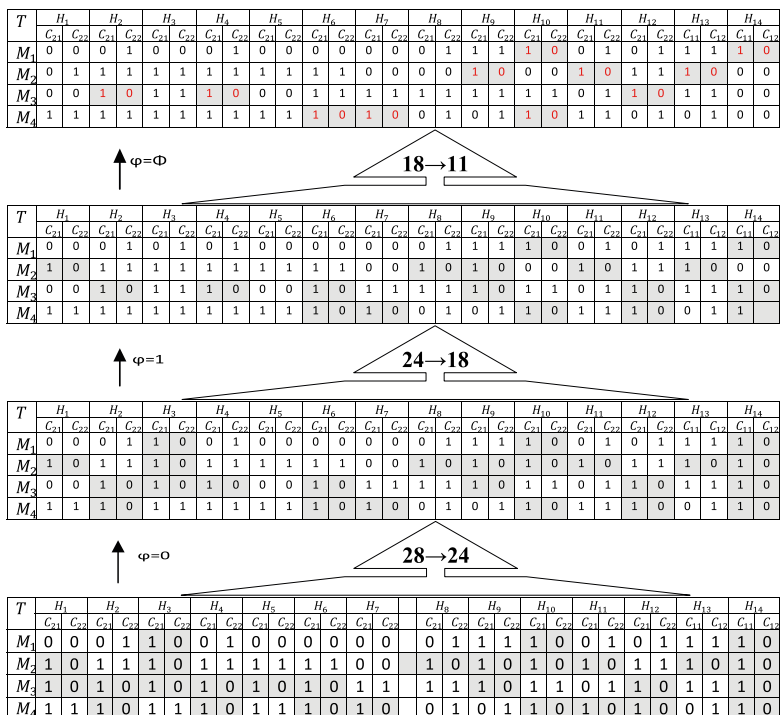


Рис. 9.13 — Фрагменты расчетных данных относительно потенциальных рисков, связанных с механическим воздействием на костную систему, для разных групп населения

Попутно отметим, что, если в рассматриваемую модель *RNN* ввести сигналы о механических повреждениях каждой из

отдельных костей в соответствующих группах (см. табл. 9.15), мы получим еще более глубокий частный вариант модели *RNN*, вычислительные процедуры в которой, впрочем, будут подобны рассматриваемым, отличаясь только более высокой сложностью расчета на стадии обучения сети.

СЕРВИС ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОБЫТИЙНЫХ РИСКОВ

Из приведенных нами выше примеров можно сделать несколько весьма интересных обобщающих выводов.

1. Рискообразующее событие является производной некоторой цепочки предварительных событий из числа предполагаемых или их оригинального сочетания. Число предполагаемых событий, которые могут или не могут предшествовать событию рискообразующему в настоящее время, может быть сколь угодно большим. Причем эти события, как правило, связаны с достаточно большим количеством людей и организаций, предприятий, технических систем и производственных процессов — субъектов рискообразования. При этом число людей, связанных с проявлением такого риска, также неограниченно.

2. Очевидным является de-facto состояние централизации в одном месте всей информации о таких событиях, их изменениях, когда одни решения становятся более значимыми, а другие можно исключить из числа потенциально опасных для настоящего времени, без согласования с остальными операторами рисков. Централизация принятия управленческих решений является крайне важным затруднением для анализа таких задач потому, что каким бы ни был центр управления, он всегда несет в себе признаки субъективности и предвзятости и может становиться причиной утери необходимой информации для объективной оценки потенциальных рисков.

3. Подробные проблемы явно не способствуют росту безопасности потенциально аварийных объектов и рискообразующих систем в целом. Они требуют своего решения, прежде всего, в пользу тех людей, которые подпадают под действие такого риска.

Чаще всего персонал, работа которого связана с рисками, делится на две явно неравнозначные группы:

- персонал, например, управленческий, от которого зависит защита от реализации потенциального риска, знания о котором помогают им в этом;

- персонал (исполнители), который непосредственно связан с активными действиями в зоне потенциального риска, он является участником событий с потенциальным рискообразованием.

Первая группа, как правило, более информирована о свойствах и качествах потенциальных рискообразующих событий в управляемой ими системе, но физическая опасность, угрожающая им, при этом минимальна. Вторая, более многочисленная группа, предметно знакомится с сущностью потенциальных и в особенности реальных рисков или их сочетаниями, только в момент наступления «точки невозврата». Это делает опасность для них наиболее высокой.

Исключения в такой схеме бывают (непроизводственная деятельность, спорт, виды активного отдыха, в некоторой мере, экспериментальная наука, традиционный быт), но они, чаще всего, являются подтверждением основной закономерности.

На производстве, как правило, проводятся занятия, учения с целью повышения информированности второй группы работников. Если речь идет о рисках вне производственной сферы, здесь информированность непосредственных исполнителей вообще может оказаться минимальной, по указанным выше причинам.

Эффективность первой группы исполнителей непосредственно связана с принятием организационных и инженерных решений, направленных на минимизацию потенциальных рисков, профилактикой рискообразующих событий. Эффективность работы второй группы (например, связанная с выполнением плановых показателей, производительностью труда), чаще всего, идет в разрез с пониманием потенциальных рисков и опасностей, как психологически преодолимого препятствия на пути высоких производственных показателей.

Для аналитика прогнозировать и предупреждать о потенциальных авариях, о реализации потенциального риска – задача весьма неблагодарная и непростая. Потому, что человек по своей природе не склонен к абсолютизации потенциальных опасностей. Они приобретают для него предметные очертания только во время наступления рискованного события или даже после него. Поэтому прогнозирование аварий, как далекая перспектива, находится как правило, вне внимания человека и становится чем-то реальным только в последний момент. Это именно тот минимальный отрезок времени $\delta t \rightarrow \min$, который почти всегда определяется как «точка невозврата», после которой изменить что-то уже почти невозможно.

Безусловно, в рискообразующей информации нуждаются обе группы участников, но если первая группа использует информацию с профилактическими целями, то вторая группа получает ее уже трансформированной через участников первой группы и не имеет прямого доступа к исходным источникам информации.

В данном случае, ситуация приобретает некоторый двойственный смысл: информацию о потенциальных рисках и авариях, как правило, получает ограниченный круг ответственных людей, а свидетелями, участниками и жертвами аварий становится значительно более широкий круг людей, которые не имеют достаточного доступа к результатам прогнозирования рисков, но становятся его участниками. Решение принимает именно ограниченный круг людей, а в случае их ошибки — расплата ждет тех, кто повлиять на рискообразующее событие не может. Такая двойственность, чаще всего при неблагоприятных событиях, и становится причиной травмирования или гибели людей — пользователей таких рискообразующих систем. Исходная централизация нужной информации делает любые объективные способы прогнозирования и предупреждения далекими от эффективности.

Возникающее при этом противоречие заключается в отсутствии сходимости потоков информации для тех, от кого зависит появление реального риска, и для тех, кто попадает под действие этого реального рискообразующего события.

Разрешение этого противоречия можно найти, например, применением протоколов децентрализованного реестра, когда (при существующем желании пользователей) каждый участник потенциальных рискообразующих событий может иметь информацию об их состояниях, изменениях, например, во времени, и может активно реагировать на них, без участия первой группы участников, самостоятельно принимая решения о их минимизации, тем самым исключая свои контакты с появлением реального риска или аварийной ситуации.

В идеале, каждый потенциальный участник возможного аварийного события должен иметь знания об этих рисках. И должен сам решать — идти ему на этот возможный риск или уйти от него некоторым профилактическим способом. В централизованной системе оценки потенциальных рисков такое, в принципе, невозможно.

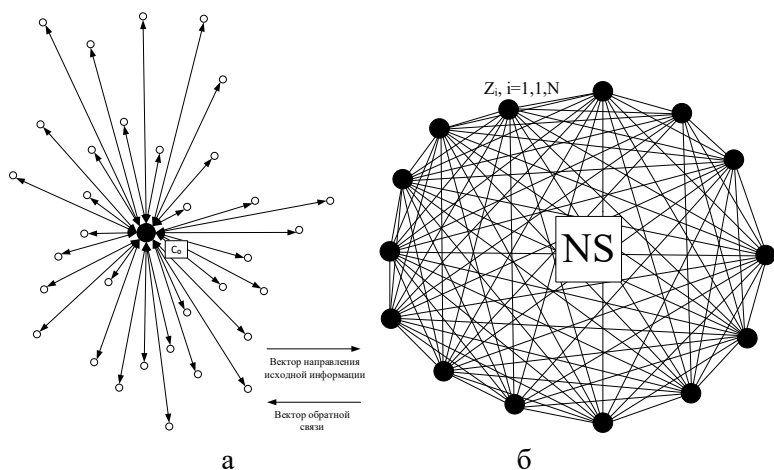


Рис. 10.1 — Централизованный а), с центром управления C_0 , и децентрализованный б) способы учета рискообразующих событий для N пользователей с включением в модель нейронной сети NN заданной конфигурации

Попробуем поставить задачу уйти от централизованного учета всех рискообразующих событий исключительно первой

группой персонала в сторону их децентрализованного учета всеми участниками системы (рис. 10.1). Возможно, это и не имеет смысла для таких систем, как, например, роуп-джампинг, где рискообразующие события собираются вокруг только двух субъектов — инструктора и джампера и могут быть просчитаны заранее. А вот для условий Паддингтонской катастрофы, в которой задействовано большое количество как субъектов, так и объектов аварии, такая децентрализованная система дает возможность получать непосредственные данные о событийном риске при поездке на железнодорожном транспорте в пределах некоторой транспортной сети каждому потребителю и самому принимать решение — стоит ли соглашаться на поездку в скоростном экспрессе при известных вам условиях: погоде, состоянии путей, подготовленности бригады машинистов и др., в том числе, тех показателей, которые в обыкновенной сети простому потребителю недоступны. Ведь, возможно, что кто-то из пассажиров, имея информацию о том, что на данном составе была подмена опытного машиниста на менее опытного, мог бы перестраховаться и отказаться от поездки. И линейные диспетчеры, имея информацию о состоянии светофорного хозяйства, были бы локально более внимательны к известной паре поездов. Поэтому база данных с масштабным тиражированием ее функций в системе событий во времени, предшествующему аварии, среди пользователей всегда предпочтительнее системы типа «черный ящик» в виде централизованного знания узкого круга специалистов об этих состояниях. Такие правила предпочтительны для большого круга пользователей, требующих знания о рисках, связанных с их деятельностью, чтобы себя обслуживать без вмешательства центрального узла накопления. Они могут относиться к любым производственным системам, транспортным и логистическим системам любых видов, системам массового заболевания и пандемии, к банковским системам и др. Для некоторых из таких систем квази-способом децентрализованного получения информации являются социальные сети, если при этом исключить частую недостоверность этой информации и фейки в сетях.

Наиболее приближенными к подобным решениям проблемы рискообразования являются платформы типа *Insurewave*, разработанная в *EY* и *Guardtime* для профилактики морских аварий и их компенсации [1, 2]. Платформа работает на основании информации о рискообразующих событиях, получаемых при помощи *GPS* и *IoT* систем, с целью информирования судов об опасностях и рисках в зоне судоходства. Такие модели формируют свою специфическую базу данных, которая доступна для всех пользователей вне зависимости от способа ее наполнения и источников появления, то есть без вмешательства некоторого центрального управленческого звена. Созданный проект *Nexus Mutual* на платформе *Ethereum* решает и вторую задачу для пользователя — возможность распределения рисков без необходимости обращения к страховой компании и последующую быструю компенсацию наступившего риска в рамках учетных кодированных смарт-контрактов и наступления «момента невозврата», который не зависит от самого пользователя (например, шторм, рифы, непредвиденная поломка двигателей, военные действия и др.).

Аналогичным образом, разработанная на базе *Ethereum* платформа *Pirpate* позволяет осуществлять децентрализованный обмен данными о защите *test-contract* каждого из них от обозначенных рисков при поддержке *blockchain*. При этом передача каждого из таких условий операции записывается в общий доступный протокол.

Все эти проекты в своей основе имеют технологию *blockchain*. *Blockchain*-технологии обладают рядом преимуществ, делающих их весьма перспективными в самых различных областях человеческой деятельности, и, в частности, в событийных рисках. Это достигается за счет:

- обеспечения прозрачности доступа к объективной информации о событиях, связанных с потенциальными и реальными рисками;
- децентрализации генерации сопроводительных документов по каждому изменению содержания события;

- приближения объективной информации о рискообразующих событиях и их сочетаниях к непосредственному исполнителю, работа которого связана с этими рисками;
- высокой скорости обработки информации;
- неизменности информации с целью отслеживания ее изменения во времени, ее одновременной сохранности у всех без исключения пользователей.

Что может собой представлять такая база данных, и как она может быть имплементирована к конкретному пользователю?

Нейронные сети NN , как способ определения фактического риска в потенциальной рискообразующей системе, рассмотренные нами в предыдущих главах, позволяют оценить каждую из возможных рискообразующих цепочек событий и донести до пользователя конечный потенциальный результат. Причем, этот результат каждый раз и в каждый момент времени может изменяться, в зависимости от сочетания изменяющихся во времени причинно-следственных связей между потенциальными рискообразующими событиями. В централизованной системе этот результат максимально доступен только первой группе пользователей. Но, повторим, что без конечного потребителя, участника второй группы, этот результат малоэффективен, о чем свидетельствуют расследования большинства аварий в самых различных системах. А собственно такой потребитель, чаще всего, узнает об этом результате только как *post-factum*, после его свершения.

В данном случае, мы должны построить строго децентрализованную систему, в которой полностью отсутствуют узлы, управляющие работой других узлов. При этом каждый узел — это один равноправный потребитель объективной информации, которая находится полностью в его распоряжении и используется по усмотрению пользователя.

Централизованная система, применяемая для управления рисками, чаще всего ориентирована на основной управляющий орган: компанию, министерство, предприятие, организацию и др. Управляющий орган, как правило, является корпоратив-

ным, узко отраслевым, интересы которого тесно переплетаются с анализируемыми событиями и принимаемыми решениями. В этом случае, управление событиями, их профилактика носят щадящий характер для подразделений управляющего органа и, чаще всего, принимаемые решения зачастую далеки от идеальных, что, в свою очередь, не способствует снижению рискообразования.

Вполне удобно базу данных о потенциальных рискообразующих событиях записывать на децентрализованной платформе смарт-контрактов *Ethereum*, как о наборе функций и данных о потенциальном и текущем состояниях этих событий, отнесенных к определенному адресу в технологии *blockchain* (рис. 10.2).

В данном случае *blockchain*, подключенный, например, в виде протокола *Ethereum*, играет роль не просто распределенного реестра, а распределенного вычислительного состояния, знания о котором доступны всем участникам событий, от которых зависит рискообразование. Для этого целесообразно использовать систему *EVM* — *Ethereum Virtual Machine*, как виртуальную вычислительную среду, с распределенными состояниями и соответствующими правилами вычислений последовательности допустимых состояний конкретного смарт-адреса по вполне определенному смарт-контракту. Такие смарт-контракты легко взаимодействуют друг с другом. В этом случае алгоритм гарантирует для каждого вычисления только одно «каноничное» состояние события в его последующей временной динамике, которое будет известно всем участникам системы.

В платформу *Ethereum* легко вписываются пакеты библиотек *web3.js* в клиентской среде *Node.js* и клиентские программы от *JavaScript*. Такой продукт обеспечивает взаимодействие с *Geth* на уровне протоколов *JSON-RPC* удаленного вызова процедур без траты ресурсов на централизованное хранение содержания каждого вызова, что очень актуально для долговременного существования подобной сети.

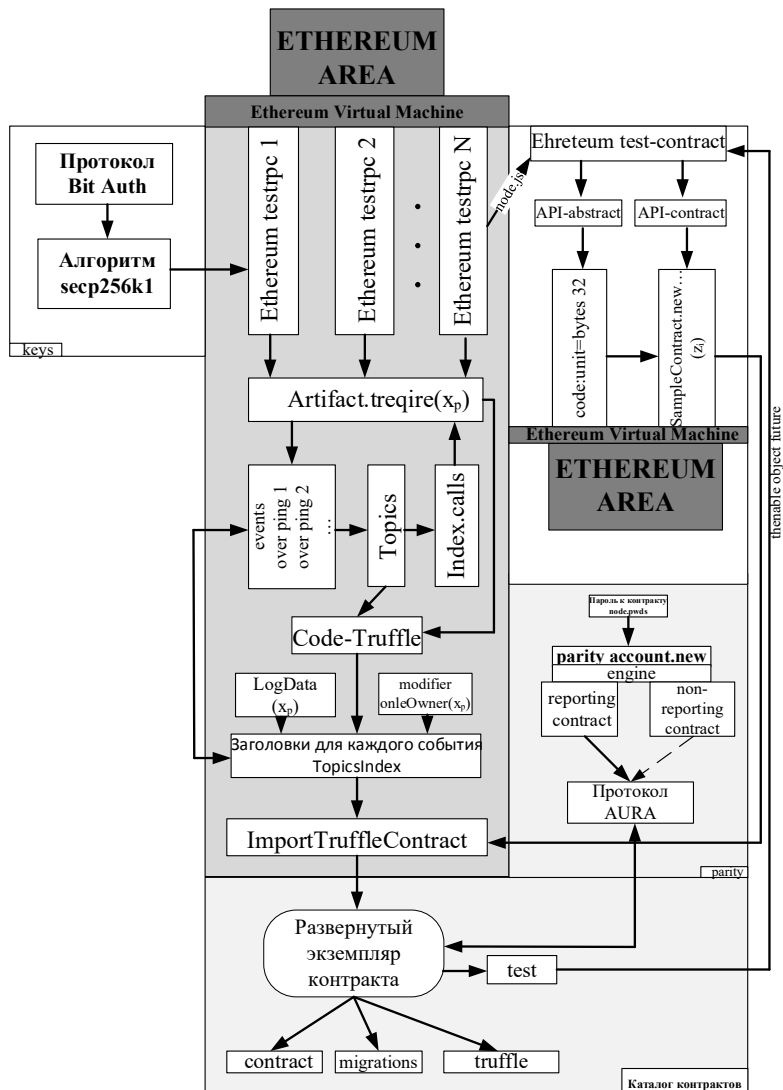


Рис. 10.2 — Порядок и опорные метки для создания модели технологии *blockchain* применительно к системе рискообразующих событий для N участников распределенного реестра в оболочке *Ethereum*

Таким образом, реализация прав каждого из N пользователей на объективную информацию должна быть сопряжена с получением им основных атрибутов участника системы распределенного реестра, а именно, наличие ключей доступа, открытого и закрытого, наличие смарт-адреса для обращений, создание смарт-контракта и собственного протокола для идентификации каждого z_i -го пользователя распределенного реестра ($i=1, \dots, N$). Такая система проходит последовательные этапы формирования, обучения, тестирования таким образом, чтобы соблюдались права каждого пользователя, его конфиденциальность, аутентичность его действий и объективность информации.

Мы пока оставим вне внимания систему оплаты за выполнение смарт-контрактов в системе *Ethereum*, которая не в последнюю очередь зависит от сложности вычислений и загруженности *Ethereum* протоколов.

Децентрализованную идентичность пользователей обеспечим условиями открытого и закрытого ключей доступа к системе. В данном случае предлагается использовать протокол *Bit Auth* (<https://github.com/bitpay/bitauth>), который позволяет создавать одновременно пару ключей: «открытый — закрытый» при помощи алгоритма *secp256k1*. Такой подход позволяет узнавать ключи без пароля между разными веб-службами и идентифицировать пользователя в системе. При этом закрытый ключ пользователя остается недоступным для «незаконного посредника» (*man-in-the-middle*) или любой третьей стороны.

В компилятивной модели с большими и сложными контрактами, когда приходится объединять большие объемы информации, в системе *Ethereum* предпочтительно пользоваться фреймворком *Truffle* (<http://truffleframework.com>), который существенно упрощает работу с распределенными ресурсами, подобными тем, что применялись при генерировании других объектов в *blockchain* технологиях.

Возможность установить по всей вычислительной системе одинаковые и прозрачные для всех правила работы с событийными смарт-контрактами, с использованием общедоступных

библиотек программирования, обеспечивает согласованную платформу для учета достаточно большого количества потенциальных рискообразующих событий, связанных с работой различных компаний, людей и компьютеров вне централизованного управления ими. Такой подход позволяет ликвидировать многие недостатки централизованных узлов, такие, как ошибки и несогласованные действия отдельных служб и организаций, различия обеспечивающих технических систем, ограничения в потоках информации через коммуникационные сети и ее дублирование, суперпозициональность в проявлении отдельных событий или их совокупности, и многое другое, что позволяет делать технологиям *blockchain* с достаточно большой структурой данных и участников, с ее способностью к обработке и вычислению при помощи *EVM*. Кодирование смарт-протоколов на каждое потенциальное рискообразующее событие выполняется единообразно во всех алгоритмах подобных виртуальных машин, отвечающих за работу всех физических обеспечивающих систем, участвующих в анализе. При этом все операции со смарт-адресами и смарт-контрактами выполняются по установленным алгоритмам и кодированным состояниям вне зависимости от принадлежности этих смарт-контрактов и состояния приложений (см. рис. 10.2).

В качестве основного инструмента выбираем платформу *Ethereum* и ее вычислительную среду выполнения байт-кодов для смарт-контрактов. Язык программирования — *Solidity*. Здесь и далее сошлемся на выкладки программ и библиотек изложенных в [3, 4, 5].

В основе такого блокчейна закладываем сетевой узел *Ethereum* — *Parity 1.7.0*, с использованием итерационных преобразований. Он позволяет создавать консенсус для пользователей с доказательством полномочий (*Proof-of-Authority, PoA*). Специализированный язык установки — *Rust* в среде обработки *Visual Studio 2015* в *Windows* (команда установки *rustup default stable-x86_64-pc-windows-msvc* или подобная в соответствующей оболочке).

Смарт-контракт объявляется ключевым словом *contract*. В нем объявляются некоторые переменные (со служебными функциями *uint256*):

```
Contract Sample
{
  //переменные
  uint256 data;
  address owner;
};
```

Далее объявляется собственно событие, как информация для пользователя (событие запускается каждый раз с измененным значением *data*):

```
{//объявление события
Event logData(uint256 dataTolog)
};
```

Далее объявляется модификатор функции для автоматической проверки ее условия перед выполнением

```
{//модификатор
modifier onlyOwner (x_p) {
    if (msg.sender ...==owner) throw}
};
```

И после этого вызывается «конструктор», основная задача которого состоит в активации и проверке переменных состояния события:

```
{//конструктор
Function Sample (uint256 initData, address initOwner) {
    data = initData;
    owner = initOwner};
}.
```

Функции для получения значений (*data*) переменной для *p*-го события, а также функция для изменения этого значения определяются следующим образом:

```
{//функции
function getData (x_p) returns (uint256 returnedData) {
    return data};

function setData (uint256 newData) onlyOwner {
    logData (newData);
    data = newData};
```

Последовательность действий по формированию и использованию событийных смарт-контрактов предлагается следующей (см. рис. 10.2):

- формирование приложения *ethereumjs-testrpc* для субъектов, ответственных за конкретную событийную опцию в соответствующей оболочке;
- написание кода переноса посредством последовательности *artifacts.require* (z_i), означающая приоритетность взаимодействия в *Truffle*;
- создание заголовков для каждого события (x_p). По заголовкам события отличаются для всех N участников распределенного реестра данных;
- импорт *truffle-contract* в соответствии с известными версиями программ, например, *API truffle-contract*, как информация о контракте, адресе библиотек в *Ethereum*, а также набор функций для этого;
- настройка тестового окружения, позволяющего контролировать коды событий в процессе обучения;
- инициализация каталогов *Truffle* (команда *truffle init*, подобная расположенному внутри каталога *altcoin*, отнесенная к событийным рядам x_p) и получение доступа к структуре события для любого участника z_i ;
- подготовка тестов на *Solidity* для контроля событий (расширение тестовых файлов. *sol*). Тестовые файлы являются естественными расширениями контракта, с которыми они связаны;
- формирование доступа всех z_i пользователей к экземпляру любого контракта.

Каждый последующий смарт-контракт с кодом (b) создается как продолжение на основе предыдущего контракта, имеющего код (a), следующим образом:

```
Contract sample1
{
    int a;
    function assign int b)
    {
        a = b;
    }
}
```

Contract sample2

```
function sample2 ( $z_{i+1}$ )
{sample1 s = new sample 2 ( $z_{i+1}$ )
s.assign (12)
}
```

Порядок взаимодействия пользователя со смарт-контрактом осуществляется либо при помощи компилятора Solidity Compiler (SOLC), который описан описан в [6], либо при помощи утилиты *solcjs* в браузере *Ethereum* [7]. Второй вариант предпочтительнее потому, что он позволяет пользоваться встроенным редактором и самостоятельно генерирует код *web3.js* для развертывания контракта в интерактивной консоли *Geth*.

Порядок использования *ethereumjs-testrpc* в качестве HTTP-сервера следующий:

```
var TestRPC = require (ethereumjs-testrpc);
var server = TestRPC.server (p);
server.listen (port, function (err, blockchain) {P});
```

В том числе, возможна фиксация любого необязательного входного параметра, позволяющего определять работу *ethereumjs-testrpc* в следующих операциях:

- *accounts* — общий массив входных объектов системы;
- *debut* — определение операционных кодов виртуальной *EVM*;
- *logger* — дается значение объекта, которому поручено реализовать функцию *log (p)*;
- *mnemonic* — оператор, использующий фигуру *HD*-ресурса для генерации исходного адреса;
- *port* — порт всех входных объектов системы для избранного сервера;
- *seed* — виртуальные данные для мнемоники фигуры *HD*-ресурса исходного адреса;
- *total_account* — число аккаунтов, требуемых для генерации при запуске приложения;
- *time* — дата, с которой стартует первый блок объектов;
- *locked* — блокировка по умолчанию;
- *unlocked_account* — не блокируемые массивы адресов объектов;

– *topics* — заголовки событий, то есть их значения для индексирования.

Здесь же используются и не инклюзивные операторы, не входящие в *RPC*:

– *evm_snapshot* — состояние блокчейна при добавлении очередного блока;

– *evm_revert* — возврат блокчейна к предыдущему состоянию;

– *evm_increaseTime* — перескок вперед во времени:

- фиксированный параметр в виде временного интервала;
- возврат текущей настройки времени;

– *evm_mine* — принудительный запуск вычисления;

– вычисление, не зависящее от работы других пользователей;

– отсутствие параметров для вычислительных операций.

Таким образом, происходит не только согласование смарт-протокольных заголовков в контенте *Ethereum*, но достигается адаптация адресных меток событий x_p и пользователей z_i , например, во встроенной системе *NS*.

Заголовки событий представляют сигнатуру события (первый заголовок) и значения индексированных параметров каждого последующего события. По этим заголовкам в технологии *blockchain* извлекаются только те события, которые отражены в контракте с конкретным адресом.

В рабочей модели используются программные методы:

– вызова *setProvider* объекта *SampleContract* с любой станции зарегистрированного пользователя (z) для передачи ему нового протокола общения с узлом;

– вызова *detectNetwork* (z) объекта *SampleContract* для идентификации сети с текущей абстракцией необходимого контракта (ссылки с провайдером при этом должны быть обоюдными);

– установки по умолчанию значений для движения контракта методом *defaults* ((z) в зависимости от условий передачи аргументов контракта для пользователя z);

– повторение действий над смарт-контрактом, с целью утверждения абстракции контракта, при помощи библиотеки *StringLib*. и др.

Экземпляр контракта, развернутого в сети по указанному в аргументе адресу создается согласно функции *SampleContract.new* (*[argZ1, argZ2, ...], [tx params]*). При этом функция должна быть способной для поиска адреса библиотеки, по существующему байт-коду, в зависимости от сети участия.

Каталог приложений к задаче (аналогичный *alcoint*) внутри себя будет иметь команду инициализации задачи (*truffle init*), благодаря которой после инициализации появляется полная структура задачи поиска событий (x_p), из числа прогнозируемых для пользователя z_i . Для этого в структуре имеются каталоги контрактов (*contracts*), хранения всех файлов (*migrations*), тестовые файлы (*test*), и главный файл конфигурации *Truffle* — (*truffle.js*).

Такая *EVM* по предназначению может работать по принципу взаимодействия, по крайней мере, с двумя источниками *blockchain*. Один устанавливается на машине пользователя, например, *TestRPC EthereumJS*, а другой — в сети, где будет развернуто приложение. Например, это частная корпоративная сеть либо сеть не ранжированных однотипных пользователей. Развертывание контракта для события или файлы переноса записываются априори, исходя из условия, что требования к ним со стороны любого из пользователей будет меняться со временем. В частности, это относится к оценке субъективной значимости конкретного события x_p как рискообразующего во времени. История запусков каждого переноса (аналог транзакции), становится известной для всех пользователей, потому что вписывается в общий контракт *Migrations*, который сберегается как метка.

Подготовка тестовых файлов, как составляющих контрактов, позволяет вербально контролировать эти контракты всеми участниками технологии *blockchain* и в полном объеме входных сигналов системы. Проверка файлов благодаря ссылкам на *Truffle* позволяет уточнять и дорабатывать их содержание в зависимости от состояния рассматриваемого события. Для этого *Ethereum* предоставляет возможности выполнять такие операции любому из пользователей сети, как в интерактивном режиме, так и автоматически.

Пользовательская часть децентрализованного приложения и его компоновка при помощи конструктора *Truffle* будет включать обязательные файлы и каталоги на основе заданной конфигурации:

- каталог *app* и внутри его расширение *index.html*;
- каталог *javascripts* и файл *index.js*;
- каталог *stylesheets* со скачанными файлами *CCS Bootstrap 4* (по адресу <https://v4-alpha.getbootstrap.com/getting-started/download/#bootstrap-css-and-js>).

В целом, в исполнении *Truffle* существенно упрощается подготовка, формулировки, объединение, развертывание и тестирование закладываемых контрактов для каждого из предполагаемых событий. Причем, пользователи, имеющие доступ к корпоративной сети с распределенными параметрами, без какого-либо централизованного вмешательства, имеют право отслеживать все изменения в данном контракте на протяжении всего периода прогнозирования рискообразующих событий, относящихся к данному консорциуму пользователей.

Готовность пользователей работать с таким распределенным реестром зависит от желания самих участников возможных рискообразующих событий исключить появление риска в их работе. Глубина формирования пользовательской сети также зависит от потребностей в точности и достоверности получаемых результатов. Преимущество, которое получают субъекты пользования, заключается в возрастании объективности получаемых результатов, а значит и в повышении уровня безопасности анализируемых объектов.

Подобная система расчетов вполне согласуется с моделями нейронных сетей, как инструментарием для анализа и прогнозирования потенциальных рисков в любых системах и для любых объектов (см. рис. 10.2). *Ethereum Virtual Machine* становится эффективной оболочкой для хранения и управления множеством потенциальных событий и предполагаемого рискообразования. Она позволяет вычислять параметры динамики таких событий через их параметрическую базу, определять их энергетический потенциал для реализации и находить пути возможной минимизации таких рисков.

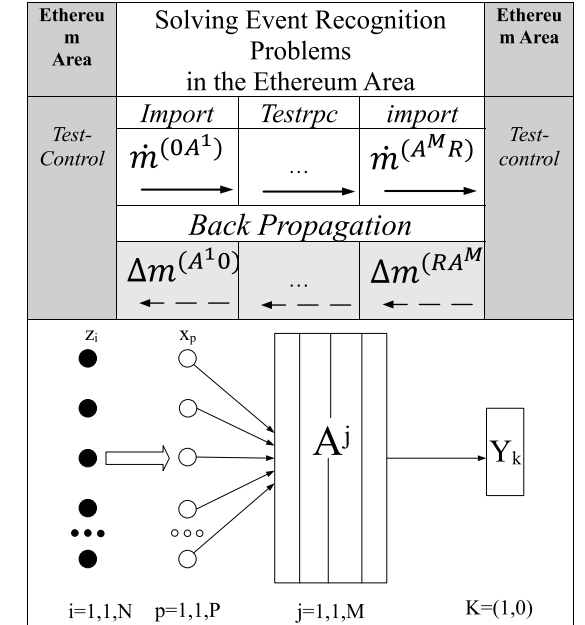


Рис. 10.3 — Нейронная сеть NN вписанная в оболочку децентрализованного реестра *Ethereum*. Здесь z_i — пользователи в системе децентрализованного реестра; x_p — учетные рискообразующие события в системе *Ethereum* и принадлежащие NN ; Y_k — выходная функция NN в масштабе принятия решения о риске, доступная для всех N пользователей в рамках реестра; A^j ($j=1,1,M$) — скрытые синапсные слои нейронов в NN ; $\dot{m}$ — уточненные значения весовых коэффициентов в модели NN после процедуры «back propagation»

Итак. Имеется N пользователей информацией ($i=1,1,N$). Создадим для них нейронную сеть с числом учетных событий x_p (входные сигналы в NN), способных привести к фактическому риску — P , ($p=1,1,P$). Перед нами многослойная NS с числом скрытых синапсных слоев M , ($j=1,1,M$). Каждый j -й слой состоит из заданного числа нейронов. На выходе системы имеем бинарный сигнал (существование или отсутствие реального риска) Y_k ($k=1,0$). Такая нейронная сеть скрыта от пользователей

z_i , но информация о фактических рисках, генерируемая сетью в каждый отрезок времени, распределена между всеми пользователями, доступна и постоянно обновляется. Работа подобных нейронных сетей в качестве метода оценки событийных рисков рассмотрена в предыдущей главе книги, поэтому подробно на этом останавливаться не будем. Рассмотрим ее только во взаимодействии с децентрализованными оболочками, которые позволяют доступ к конечной информации (в данном случае сигнал Y_k для совокупной базы входных сигналов x_p).

Чтобы *вписать* такую разработанную модель NN в контент децентрализованного реестра (рис. 9.3), необходимо согласовать параметрические данные пользователей и входные данные нейронной сети. Особенность здесь заключается в принципиальном отсутствии весовых коэффициентов между сигналами z_i и x_p , которые не существуют по предназначению. Первая база данных имеет двойную содержательность: как пользовательский контент в области *Ethereum*, и одновременно они влияют на структуру входных сигналов в NN . С другой стороны, пользователи z_i в оболочке *Ethereum* являются потребителями информации на выходе NN . Поэтому выход нейронной сети Y_k является также вписанным в контент децентрализованного реестра (см. рис. 10.3). Осуществляется это путем согласования смарт-адресов для каждого z_i со смарт-адресами x_p , а также со смарт-адресами Y_k , сделав их равноправными для распределенного реестра. Для этого в системе *Ethereum* предусматриваем процедуры согласования соответствующих функций и данных о потенциальных и текущих состояниях как событий x_p , отнесенных к определенному адресу в технологии *blockchain*, так и смарт-контрактов каждого из z_i пользователей. Например, в фреймворке *Truffle* (<http://truffleframework.com>) уже заложена возможность одновременного учета заданных нами параметров z_i и x_p , путем снабжения каждого из них уникальным маркированным адресом и соответствующим смарт-контрактом, делающими эти данные равноправно доступными в системе *blockchain*. Подобным образом обеспечиваются механизмы адаптации к смарт-контрактам первой и второй групп, участвующих в *Truffle*.

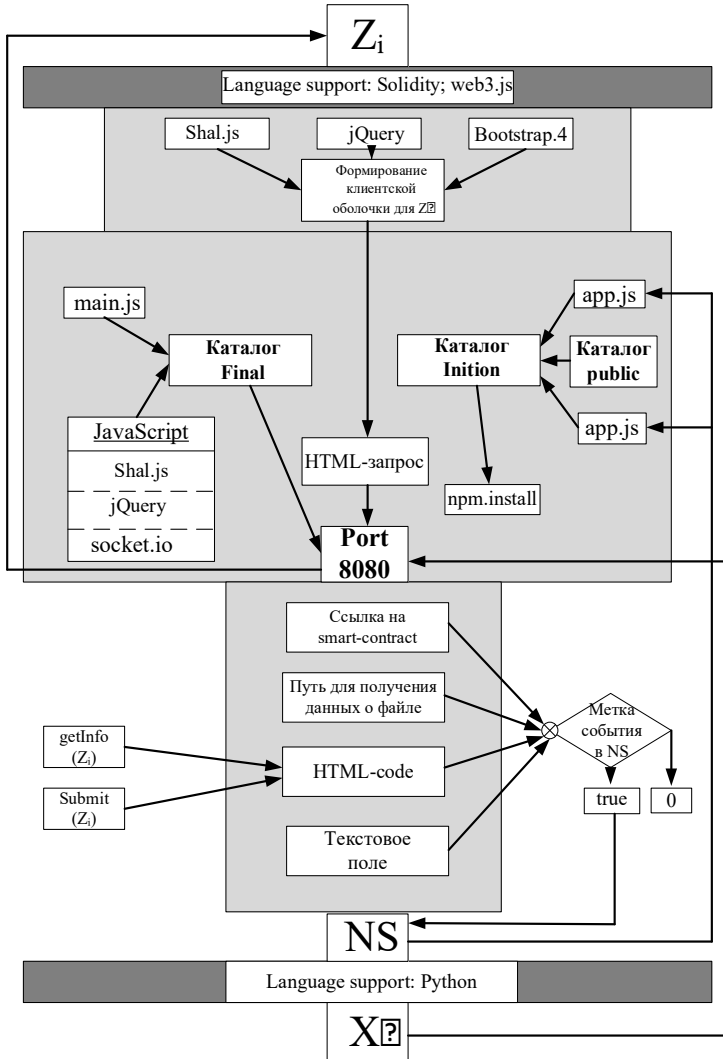


Рис. 10.4 — Последовательность формирования клиентского приложения для согласования параметров рискообразующих событий x_p ($p=1,1, P$) в модели NN с оболочкой технологии *blockchain*, применительно к каждому из z_i ($i=1,1, N$) пользователей сети

Для того, чтобы сформировать условия *согласованной работы* в клиентской оболочке блокчейн технологии для каждого из ($z_i, i=1,1, N$) потребителей относительно заданной модели *NS*, воспользуемся фрагментарными правилами для соответствующих приложений, описанных в [3]. Общий подход к согласованию встроенной модели *NN* и оболочки *blockchain* для пользователей ($z_i, i=1,1, N$) представлен на рис. 10.4.

Клиентская оболочка для смарт-контракта, где пользователь:

- избирает файл;
- вводит свои данные;
- может отправлять собственные действия в сеть, где указаны

данные пользователя,

позволяет однозначно определять притязания клиента на результаты работы *NS* в ретроспективе изменения сочетаний рискообразующих событий, актуальных на конкретный период доступа и для конкретного способа достижения конечной цели. Для этого удобными являются фреймворки и модули:

- *shal.js* — для легализации адреса файла со стороны пользователя;
- *jQuery* — для управления объектами *DOM* применительно к моделям *NS*;
- *Bootstrap 4* — для создания адаптивного макета.

Со стороны нейронной сети в качестве коммуникационной основы используем возможности *web3.js* и *express.js* [5] таким образом, чтобы пользователь имел возможности получать информацию по запросам автономно от работы *NS*. Эти вложения записываются на языке *Solidity*. Как вариант, для написания, компиляции и развертывания контрактов можно использовать *Remix IDE*.

Структура коммуникаций содержит обязательные:

- каталог *Initial*, для пустых файлов исходного кода;
- библиотечные программы, позволяющие осуществлять работу каталога;
- каталог *Final* для хранения окончательного исходного кода смарт-контракта.

В свою очередь, каталог *Initial* в своей структуре должен содержать вложенный каталог *public* и два файла *app.js*, как место хранения автономная информация от *NN*, и *package.json*, содержащий параметры этого встроенного приложения. Каталог *public* формируется как пользовательский (*public/css*) для хранения программного продукта от фреймворка (*bootstrap.min.css*), с размещенными внутри, в *public/html*, HTML-кодами пользовательских приложений. Каталог *public.js* должен содержать JavaScript-файлы для *jQuery*, *shal.js* и *socket.io*. Кроме того, каталог *public.js* содержит файл *main.js* для хранения кодов JavaScript-файлов для пользователей.

Для выполнения пользовательской части коммуникаций от *NS* до оболочки *blockchain* и наоборот, а также для легализации необходимых зависимостей между пользовательской оболочкой и *NS* предусмотрена команда *npm install* внутри каталога *Initial*. Здесь же будет храниться база адресов смарт-контрактов.

Далее создается автономный сервер, способный обслуживать HTML-запросы пользователей и фиксировать все подключения к нему (*socket.io*), в котором при помощи порта **8080** объединяются воедино оболочка и приложение *NN*:

```
var express = require("express");
var app = express(zi);
var app = express(xp);
var server = require("http"), createServer(app);
var io = require("socket.io")(server);
server.listen(8080);
```

Код для авторизации направления к файлам и странице приложения *NN* записывается следующим образом:

```
app.use(express.static("public"));
app.get("/", function(req, res){
res.sendFile(__dirname + "/public/html/index.html");});
```

Узел *Geth* предназначен для реализации множества узлов *Ethereum*, *Swarn*, *Whisper*, если таковыми пользуются, для того, чтобы такие децентрализованные приложения были совместимыми и пользователь имел возможность доступа к ним со

своего сетевого узла. Это интерактивная консоль *JavaScript* для программного взаимодействия с *API*. Поиск узла *Geth* осуществляется по адресу <https://github.com/ethereum/go-ethereum/wiki/Installation-instructions-for-Windows> с исполняемым файлом *geth.exe*. Подключение к узлу *Geth* со ссылками на развернутый контракт каждого пользователя и возможностью отслеживать все события внутри *NN* обеспечивается благодаря коду со следующим фрагментом:

```
var.use (express.static("public"));
app.get("/") function(reg, res)
{res.sendFile(_dirname = '')/public/html/index/html');}.
```

Далее для описания последовательности действий снова сошлемся на работу [3].

1. Определение ссылки на развернутый контракт пользователя с целью возможности отслеживания последовательности рискообразующих событий в модели *NN*.

2. Формирование пути для получения данных о требуемом файле.

3. Отслеживание за событиями, источником которых для пользователей сети является вложение *NN* с целью последующей трансляции.

Фрагмент файла для проверки статуса результата следующий:

```
proof.logfileAddedStatus (zi).watch (function(error, result) {
if(!error){
{if result.args.status ==true){io.send(result);
}}})
```

Событие может быть переслано пользователю сервиса *socket.io*, если статус результата равен *true*.

4. Разработка уникального *HTML*-кода для приложения [3]. При этом отображается поле ввода, в котором пользователь (z_i) может выбирать требуемый файл.

5. Отображается текстовое поле файла с данными источника информации из вложения *NN*. При этом в окне приложения резервируется соответствующая область, в которой отображается требуемое событие.

6. Таким образом получается упорядоченный перечень трансформированных событий для конкретного периода времени, которые были подтверждены во вложении NN .

Работа уникального *HTML*-кода, который предназначен для осуществления методов *getInfo* (z_i) и *submit* (z_i) и установления соединения с *socket.io* обеспечивается алгоритмом, описанном в [3]. Код должен храниться в файле *main.js*.

Метод *submit* (z_i) позволяет убедиться в существовании выбранного файла и в том, что принадлежащее ему текстовое поле не пустое.

7. Содержимое файла считывается в буфер и становится доступным всем пользователям в установленном виде в виде метода *shal* (z_i), который описан в библиотеке [8].

8. Проверка правильности выбора файла пользователем (z_i) обеспечивается методом *getInfo* (z_i).

9. Устанавливается соединение с сервисом *socket.io* посредством методов *...io* (z_i), которые извлекаются из библиотеки [4] по принадлежности. Программа показывает факт установления связи с заданным событием и предоставляет его пользователю из базы данных NN .

10. По адресу *https://localhost:8080* в окне браузера отображается интерфейс пользователя (z_i). Выбирается имя события ($x_p, p=1,1,P$) и его содержание отображается перед пользователем, записанным под именем (z_i).

Такой согласовательный алгоритм достаточно сложный, но единожды созданный для N пользователей, он может быть актуальным для всех P запрограммированных рискообразующих событий, на которые настроена модель NN . Определенные вопросы могут возникать при состыковке языков программирования, но этот вопрос следует решать в каждом индивидуальном случае, в зависимости от подготовленности оператора, доступной техники и программного обеспечения.

Отличие базы данных z_i от базы данных x_p в компилятивной модели *blockchain* заключается в том, что участникам первой для пользования информацией требуется открытый и закрытый ключи

для идентификации и децентрализованного доступа к системе с встроенной *NN*. Повторим, что для их создания используем протокол *Bit Auth* (<https://github.com/bitpay/bitauth>), и алгоритм *secp256k1*. А для второй базы такие ключи не требуются, потому что это внутренняя база для *NN*. Каждый пользователь z_i , вооружившись ключами доступа, формирует свои учетные данные и хранит их на своем компьютере. Общение с другими пользователями осуществляется путем обмена протоколами.

Встроенная нейронная сеть в некоторой степени расширяет область притязаний любого из пользователей. Но на самом деле, чем больше число встроенных сетей в технологии *blockchain*, тем больше ограничений накладывается на каждый смарт-контракт. Каждый новый протокол обязан проходить проверку не только в главной оболочке, но и в каждой из встроенных сетей, если пользователь предпримет попытку воспользоваться их базой данных, что является неизбежным по предназначению такой модели, но весьма затруднительным по причине различия в конфигурациях основной сетевой оболочки и встроенных сетей, в данном случае *NN*.

Таким образом требуется не только согласование смарт-протокольных заголовков в контенте *Ethereum*, но и обеспечение адаптации адресных меток как событий, так и пользователей, например, во встроенной системе *NN* (см. рис. 10.3). Такая конфигурация модели обеспечивает возможность вызова *setProvider* (x, z) объекта *SampleContract* с любой станции зарегистрированного пользователя для передачи ему нового протокола общения с узлом. Одновременно, обеспечивается возможность вызова *detectNetwork* (x, z) объекта *SampleContract* для идентификации сети с текущей абстракцией необходимого контракта (ссылки с провайдером при этом должны быть обоюдными).

Рассмотрим стандартный способ отслеживания событий, сопутствующих содержанию контракта, описанный в [3, 9]. Осуществляется это путем индексированных параметров событий (их может быть в рамках программы не более 3). Предлагается использовать атрибут *indexed* для уведомления узла о том, что

пользователь может искать событие по принципу совпадающих возвращаемых данных. Программа атрибуции и соответствующего отслеживания событий пользователем z_i следующая (таблица 10.1).

Таблица 10.1 — Порядок отслеживания событий для контракта z_i -го пользователя

Программа [3]	Работа кода
<pre> var event = proof.logFileAddedStatus (null, fromBlock: 0, toBlock: "latest"; event.get (function (error, result) { if (!error) { console.log(result); } else { console.log(error); } }) event.watch(function(error, result) { if (!error) { comsole.log (result.args.status); } else { console.log (error); } }) setTimeout (function (z_i) { event.stopWatching (z_i); }, 60000) var events = proof.allEvents ({ fromBlock: 0, toBlock: "latest" }); <u>events.get (function (error,</u> <u>result) {</u> <u>if (error)</u> <u>{</u> </pre>	Объект события получается путем вызова одного из методов, одноименного с контрактом. Метод оперирует двумя объектами, которые используются для фильтрации событий: – первый объект обеспечивает фильтрацию событий по их индексированным значениям, например, <i>myFirstAddress</i>, <i>mySecondAddress</i>. Исходное значение фильтра — <i>null</i>. Такой фильтр будет относиться только к событиям принятого контракта; – второй объект содержит три качества, в зависимости от времени их заявления: <i>fromBlock</i>, <i>toBlock</i> и <i>address</i> (по умолчанию), относящиеся к самому старому блоку, новому блоку и их адресам. При помощи объекта <i>event</i> реализуются три метода выделения событий: <i>get</i> — в заданном диапазоне блоков; <i>watch</i> — для отслеживания изменений в событиях после их получения до следующего запроса; <i>stopWatching</i> — для приостановки отслеживания изменений в событиях. Метод <i>allEvents</i> предназначен для извлечения всех событий, связанных с контрактом z_i-го пользователя. События в протоколе шифруются следующими свойствами: – <i>arg</i> — объект аргументов, представляемый событием (не более 3-х);

Программа [3]	Работа кода
<pre> console.log (result); } else { console.log (error); } }) events.watch (function (error, result) { if (!error) { console.log (result.arg.status) } else { console.log (error); } }) setTimeout (function (z_i) { events.stopWatching (z_i); }, 60000) </pre>	– <i>event</i> — строка имени события; – <i>logIndex</i> — целое число, отображающее указатель лога в блоке; – <i>transactionIndex</i> — целое число, отображающее изменение в событии до его извлечения пользователем z_i; – <i>transactionHash</i> — строка, представляющая алгоритм, преобразующий входные данные сообщения в битовый массив фиксированного размера, по которому был сгенерирован данный лог; – <i>address</i> — адрес, из которого в систему зашел затребованный лог; – <i>blockHash</i> — строка, в которой находится алгоритм для трансформации данного лога, если он находится в состоянии подтверждения; – <i>blockNumber</i> — номер блока, в котором находится алгоритм преобразования лога, если тот находится в состоянии подтверждения

Таким образом, любой пользователь z_i , зарегистрированный в распределенном, децентрализованном реестре, может выделить интересующие его события x_p в их перспективе и сформировать свое отношение к ним. Осуществляется такая операция без какого-либо вмешательства управляющих субъектов рискообразующей системы или внешних неконтролируемых факторов в объеме заявленных событий. Объем заявляемых событий зависит от полноты исходных данных для рискообразующей системы и их востребованности в процессе работы системы.

Результатом такой модели является возможность для каждого пользователя z_i , подобной децентрализованной сети с встроенным механизмом распознавания потенциальных рискообразующих событий x_p , в любой момент времени получить объективную информацию о потенциальных и реальных рисках Y_k , которые могут сопровождать его в процессе вписывания в исходную систему.

При непрофессиональном подходе к созданию таких децентрализованных приложений, в особенности со встроенным программным обеспечением, можно столкнуться со следующими проблемами, которые, впрочем, легко ликвидируются при определенных навыках работы с приложениями:

- децентрализованное приложение, тем более имеющее встроенные инородные модели, должно быть ограничено от взаимодействия с иными *API (application programming interface)*, имеющими централизованные приложения. Практика показывает на существенные сложности в достижении этого условия;

- в условиях отсутствия централизованного сервера, требование подтверждения личности пользователя иногда вызывает техническое «зависание» системы;

- при тестировании приложения и, особенно, при устранении ошибок приходится каждый раз его обновлять, причем обновление требуется на каждом узле созданной одноранговой сети типа *P4P*;

- необходимость применения достаточно сложных протоколов для достижения консенсуса требует строгого масштабирования в самом начале работы приложения, без дополнительного добавления новых функций или входных сигналов. Если такое происходит, вся система должна перестраиваться и тестироваться снова.

Тем не менее, подобные реестры, несмотря на их кажущуюся сложность, позволяют облегчить доступ большого круга пользователей к системам рискообразования вне зависимости от участия управляющих структур с достаточной степенью достоверности и объективной оценки потенциальных рисков. Разработанная таким образом система может существовать как приложение к базам данных пользователей, либо как автоматизированная информационная инструкция для субъектов, управляющих системой, либо как независимая децентрализованная система данных с привязкой к определенной категории населения, заинтересованной в ее использовании. В таком случае можно ставить вопрос и об оплате активности каждого пользователя в данной системе. Но

в любом случае децентрализованная система прогнозирования рискообразующих событий способна позиционировать себя как надежная и эффективно действующая система предупреждения рисков.

ВИСНОВОК

Вивчення властивостей такого поняття, як «ризик», здається дуже захоплюючим і корисним заняттям. Актуальність таких досліджень безумовна. Але...

Значення розуміння терміну «ризик» у сучасній літературі тривалий час у минулому зазнавало суспільно-соціальних трансформацій у тій же мірі, в якій розвивається саме суспільство. У порівнянні з тим, що було півстоліття тому, в суспільстві з'явилися нові виклики і нові протиріччя, які можна виміряти ризиком настання події. І деякі з них виявилися складними — або навіть непереборними. До них відносяться деякі напрямки наукових розробок, а саме створення високоактивних штамів бактерій, вірусів і бактеріофагів, раніше невідомих науці хімічних речовин, несумісних із життям, досягнення в області клонування біологічних особин, поява раніше невідомих природних вірусів і хвороб, штучне придушення імунної системи людини, розвиток комп'ютеризації і поява основ штучного інтелекту, нелімітовані інформаційні навантаження з низькою інформативністю самої цифрової інформації, мінливість і віртуальність нових фінансових ресурсів, що формуються, можливість появи специфічних бактерій і вірусів, які тисячоліттями заморожувалися в льодах Антарктики і в недосліджених досі підземних об'єктах Сибіру, активне і прогресуюче забруднення навколишнього середовища, освоєння космосу, в тому числі зворотний зв'язок від космічних апаратів, що летять до планет і супутників Сонячної системи, і багато іншого. До цього приєднуються широкомасштабні технологенні причини, в тому числі загроза застосування ядерної зброї, штучної ядерної енергетики в порівнянні зі стихійними лихами, проблеми нерівномірного розподілу енергоресурсів і пов'язаних із ними політичних і військових конфліктів, привиди голоду для цілих народів, проблеми питного забезпечення і військові конфлікти, пов'язані з нестачею води, абсолютно нові підходи до ведення сучасних, так званих гібридних воєн — до вичерпання

життєвого потенціалу та тотального знищення матеріальних ресурсів цивільного населення, міжнародний тероризм та глобальні мережі торгівлі наркотиками. Навіть такий представницький, але неповний перелік показує, як багаторазово множаться ризики, пов'язані з життєзабезпеченням людини, а деякі з них настільки актуалізовані, що стають реальністю і в нинішній час.

Якщо перераховані вище і подібні напрямки, що генерують небезпеку, вишикувати в один ряд, ми отримаємо палітру всіх без винятку сфер діяльності сучасної людини і навіть всього суспільства — і всюди в тій чи іншій мірі буде присутній реальний ризик як бінарна альтернатива «pro-contra». Будь-який з цих і багатьох інших факторів несе в собі ризик виникнення нової реальної небезпеки навіть не для окремої людини, а колективного ризику, причому часто і для цілих народів і навіть для всього населення планети, що свідчить про високу соціальність цього показника в житті нашого суспільства.

Існує область знань, яка зовні схожа на модель, що розглядається в даному дослідженні. Так, це історична наука. І не тільки.

Історична наука, в рівній мірі, як і квантова механіка та деякі інші галузі знань, ефективно експлуатують концепцію множинності історій Річарда Фейнмана. Не відволікаючись на суто специфічний зміст поняття в різних науках, суть концепції полягає у відсутності унікальності подій, що складають історичну структуру минулого (в історії) або майбутнього (в космології), невизначеності в квантовій фізиці тощо. Множинність можливих подій з майбутнього, які космологія генерує з теоретичних гіпотез розвитку всесвіту, або множинність історичних подій з минулого, які історія генерує з археології, писемності та артефактів, мають під собою одну суттєву основу: варіабельність у залежності від умов, що супроводжують ті чи інші події (майбутнє або минуле) і їх залежність від енергетики, а також від послідовної логіки розвитку самих подій.

Така концепція має право на існування і в подієвій ризикології. Тут для певної вузлової точки часу T_n завжди існує віялово влаштована безліч потенційних подій, які так чи інакше, в тому

числі й енергетично, пов'язані з єдиною подією в цьому часовому інтервалі, яка може мати місце як реальна ризикоутворююча подія. Це події, які передбачаються в майбутньому, або події, які оцінюються в минулому і спроможні до повторення в майбутньому. Віялова множинність подій, пов'язаних з ризиком, являє собою параметричну матрицю, єдиним результатом якої є бінарне представлення (0, 1) очікуваних подій із числа цієї множини, які в силу можливих енергетичних змін переходять зі стану невизначеності в чітко визначений ризикоутворюючий стан.

Подібні порівняння подій у часі за багатьма порівняльними параметрами могли б стати аргументом проти нашого підходу до поняття ризику події, наприклад, через призму стріли часу, яка присутня як в історії, так і в ризикоутворенні. Але це не так.

Історичний детермінізм для послідовності можливих подій представляється таким, що має вигляд віялово розходуваної в часі *невизначеності*. Детермінізм ризикоутворюючих подій є таким, що сходиться, орієнтований з наближенням до часу теперішнього на мінімальну кількість конкретних подій, з відомим енергетичним складом, які спроможні привести до реалізації вже не потенційного, а цілком *визначеного* ризику. В історичний період часу ми не знаємо реальної події майбутнього. Тому що це не пов'язано ні з якими вихідними даними, наприклад, з безперервністю енергетики подій. А послідовність ризикоутворюючих подій підпорядковується тільки одному правилу — або кінцева подія дає нульовий ризик, або дає реальний ризик, що вимірюється одиницею, в обсязі заздалегідь визначених варіантів подій, що передують ризикоутворенню.

Причинно-наслідкові зв'язки і послідовність подій, що передують здійсненню ризику, при всій їх зовнішній схожості з історичною наукою, не можуть за своєю структурою повторювати послідовності розгалуження випадкових подій в історії. Але моделі ризику далекі від хаосу і цим відрізняються від такого стану при прогнозуванні історичних подій.

Дійсно, важко порівнювати послідовність ризикоутворюючих подій з історичним детермінованим хаосом. Співставлення

можливе тільки в тій її частині, яка відноситься до хаотичності динамічної системи другого рівня: *наявність реакції самої системи на прогнози про вектор її розвитку у вигляді негативного зворотного зв'язку*. В історичному детерміністичному хаосі прогнозування неможливе саме з цієї причини: система здатна самостійно реагувати на свої збурення, стабілізуючи таким чином свій майбутній стан. Прогнозування формування ризиків на основі попередніх даних може впливати на систему за принципом негативного зворотного зв'язку, але тим самим така система мінімізує свої ризики. Саме здатність ризикоутворюючої системи реагувати на прогноз свого стану дозволяє їй уникнути ризику кінцевого стану подій, що дорівнює одиниці. І саме ця різниця дозволяє по-різному ставитися до історичного та ризикоутворюючого прогнозування. Якщо перше не має сенсу з вищевказаної причини, то друге ґрунтується на даних про попередній стан системи і в інтервалі часу $\delta t \rightarrow 0$ здатне знайти таке, яке відповідало б умовам нульового ризику.

За останні десятиліття розуміння ризику зазнало значних і специфічних змін, якими вже користуються військові фахівці, фінансисти, банкіри та економісти, екологи, фахівці в галузі медицини та у сфері цивільного захисту. На жаль, у науці, особливо в її базовій, фундаментальній і понятійній частині, змін, що відповідають сучасному стану питання, майже не спостерігається.

Розуміння ризику як імовірісно-статистичного показника, яким ми користуємося вже багато років, сьогодні вже не в змозі задовольнити споживача. І не тільки тому, що життя проявляє на планеті все більш небезпечні якості. Ризик стає всеосяжним фактором у найрізноманітніших сферах людської діяльності. Він стає все більш масовим і неминучим. Розуміння його властивостей також відходить від індивідуального ризику в бік масового, глобального ризику. Більш того, ризики для локальних єдинопільових груп людей тепер можна умовно віднести до індивідуальних ризиків, а під масовим (або глобальним) ризиком розуміють ризик для цілих націй і навіть, взагалі, для всього існуючого на цій планеті. Погодимося, що ризик для окремої людини і ризик

для всього населення Землі — це дещо різні якості цього поняття. Ніколи раніше в історії людства не існувало такого всеосяжного ризику. Сучасний ризик присутній у житті людини, як у часі, так і в просторі, постійно і завжди. При цьому в орбіті ризикоутворюючих подій задіяно все більше енергії, завдяки чому ризик стає реальним і все більш масовим. Настав час поговорити про всеосяжну просторову мережу ризиків. І, якщо його оцінка все ж таки проводиться імовірісно-статистичними або іншими методами — інтуїтивними, алгоритмічними, аналоговими і навіть віртуальними чи прогностичними, то такі оцінки стають схожими або на ті, які далекі від об'єктивності, або дуже неточні, або на ті, які ґрунтуються на минулих статистичних даних і, отже, також недостатньо об'єктивні. У той же час ніхто не заперечує можливості такого актуального показника ризику, як постап'іорна оцінка ризику для людини. Недостатньо розрахувати сучасний ризик, необхідно також показати його часову і просторову приналежність, оцінити його енергетичні перспективи, тобто представити його як провісник настання реальної небезпеки для суспільства або для окремої людини.

Імовірісні методи оцінки ризиків подій мають свої недоліки, які ускладнюють об'єктивну оцінку самого ризику. Крім перерахованого вище, ще один недолік полягає в початковій ізоляції таких показників від часових рамок події, що є явно неприпустимим, враховуючи глобальний і динамічний характер показників ризику.

Широкий спектр знань дають методи семантичного аналізу поняття «ризик», простим способом виділяючи історично сформовані концептуальні ряди семантичних позначень, що передували терміну «ризик». Таким чином, у дослідженнях наголошується на спадкоємності та історизмі запропонованих формулювань та їх невіддільності від попередніх знань у цій галузі. Такий підхід спрощує розуміння змісту отриманих результатів і підвищує достовірність досліджень.

Для оцінки ризику запропоновано використовувати поняття «події» в очікуваному майбутньому, як одного з невизначених

станів, так і як носія значущих енергетичних показників системи. Такі показники можуть накопичуватися в деякому майбутньому як найбільш надійний прогноз і транзитуватися в даний час у вигляді єдиного, чітко визначеного значення, за допомогою буферного переходу до визначеності в інтервалі часу $\delta t \rightarrow 0$, що передує даному часу. Такий підхід, у першому наближенні, дає можливість уникнути імовірнісної невизначеності при розрахунку параметрів ризику системи.

Резюмуючи викладене в даній роботі, нами запропоновано абсолютно нову формулювання терміну «ризик». Це бінарне відображення суб'єктивного очікування події на межі невизначеності, як функції стріли часу і мінімізації зростання ентропії в напрямку визначеного стану цієї події.

У спрощеному формулюванні, готовому до використання в прикладних цілях, *ризик є альтернативним і бінарним відображенням суб'єктивного очікування події на межі невизначеності в напрямку його визначеного стану.*

Ми звернули увагу на багато властивостей цього поняття, які в розрізненому вигляді кочували по літературних джерелах, але в сукупності, дозволили по-іншому оцінювати як якісні, так і кількісні показники ризику. Такий аналіз виявився досить плідним і відкрив нові можливості для оцінки ризиків у різних сферах людської діяльності. У тому числі і ті, що наближаються до універсальності цього терміну.

Для ризиків, що позначаються через свою подієвість, характерними є такі властивості, як бінарність, суперпозиційність, подієва безперервність, енергетична і часова взаємозалежність подій тощо. За кожною з цих властивостей стоять певні узагальнюючі закономірності, які дозволяють не тільки виконувати кількісні порівняння, але й екстраполювати якісні показники таких систем та їх чисельні значення на певну перспективу. У цьому сенсі книга може мати розвиток і продовження.

У роботі, мабуть, вперше, співвідносяться дві шкали: часова і подієва, орієнтовані у взаємно протилежні напрямки, і досліджуються деякі важливі властивості кожної з них. Причому робиться

це в порівнянні з іншою важливою шкалою — ентропійною, що виглядає дуже логічно, оскільки дозволяє сформулювати поняття подієвого ризику, як категорії, що визначається не тільки часом і не тільки фактом послідовних подій, а й енергетичним потенціалом системи, без якого ця подія не існує. Енергетика події, її спрямованість, втрати та інші її властивості постають в абсолютно новому розумінні за смисловим змістом поняття «ризик». У змісті терміну «ризик» енергія послідовно передбачається, виконується і втрачається в суворій відповідності зі шкалою часу і шкалою подій від майбутнього до сьогодення і потім до минулого. Енергія, перебуваючи в фазі, протилежній шкалі часу, передбачається заздалегідь і послідовно трансформується в даному часі і майбутньому. Така відмінність спекулятивних напрямків дає можливість використовувати широку палітру шляхів і методів формування кількісних і якісних параметрів для поняття «ризик», а також формувати його прогностичні особливості, які є надзвичайно актуальними для сучасного суспільства. У той же час підкреслюється аналітичний характер ризику подій як основи управління ризиками, прогнозування подій і чисельного аналізу.

Особлива сторона питання, якому ми приділяємо увагу в даній роботі, відноситься до понять подієвості в житті людини. Поняття події поступово переходить із чисто філософського значення в загальносоціальне поняття і відноситься практично до будь-якого осмисленого сенсу людського існування. Подія, як якісна сторона людського існування, несе в собі все різноманіття станів, дій, вчинків, сценаріїв і знань, з якими людина оперує не просто протягом усього життя, а кожну хвилину, кожну секунду. У той же час універсальність подій для людини полягає в тому, що вони залишаються в минулому, передбачаються в майбутньому, беруть участь у сьогоденні. І, як було показано вище, виявляється, що вони можуть передбачати теперішній час, стаючи в ньому цілком об'єктивною реальністю, що дозволяє не тільки передбачити їх появу, але і кількісно оцінити їх настання через невлесний момент часу «між минулим і майбутнім». Ця остання якість події не отримала по-справжньому об'єктивної оцінки в наукових

дослідженнях, хоча в ряді публікацій автори впритул підходять до розуміння цього умовно нескінченно малого проміжку часу, який перетворює передбачувану подію і майбутню в здійснену. Співвідношення між сукупністю прогнозованих подій і однією з них, яка стає реальною ризикоутворюючою, може служити прообразом міри небезпеки і ризику для такої подієвої системи.

Беручи до уваги біологічну та соціальну значимість досліджуваного явища — ризику, автори звернули увагу на наближення методів його оцінки до методів вивчення штучного інтелекту. Зокрема, методи математичної логіки, прикладні нейронні мережі, розвинена математична база для їх оцифрування, методи побудови та навчання нейронних моделей виявилися досить ефективними для опису подієвих процесів, які супроводжують ризики, та показали можливості управління такими ризиками. Отримані таким чином моделі дають можливість практично без участі людини знаходити, порівнювати і виявляти потенціально існуючі ризики і відповідні події, прогнозувати їх розвиток у певному часовому інтервалі і забезпечувати умови для мінімізації таких ризиків.

Безумовно, це лише один із можливих варіантів оцінки реальних ризиків. Але сам підхід може надати можливості для подальших досліджень у галузі ризикології, пошуку нових, більш ефективних шляхів їх реалізації з урахуванням актуальності ризиків для сучасного суспільства в різноманітних сценаріях його розвитку.

Слід бути впевненим, що такий напрямок або його варіанти знайдуть застосування в багатьох дослідженнях, причому не тільки фундаментальних, але й вузько прикладних, які сьогодні розвиваються більш швидкими темпами, ніж теоретичні дослідження. І ця робота, на думку авторів, може стати хорошим джерелом для нового розуміння значення терміну «ризик» і його теоретичного обґрунтування.

CONCLUSION

The study of the properties of such a concept as «risk» seems to be a very exciting and useful activity. The relevance of such studies is undeniable. But...

The semantic load carried by the actual understanding of the term «risk» in modern literature has long undergone a societal-social transformation to the same extent that society itself is developing. Compared even with half a century ago, new challenges and new contradictions have appeared in society, which can be measured by the risk of an event. And some of them turned out to be difficult to overcome or even insurmountable. These include some areas of scientific development, namely, the creation of highly active bacterial strains, viruses, and bacteriophages, chemicals previously unknown to science that are incompatible with life, advances in the cloning of biological individuals, the emergence of previously unknown viruses and diseases, artificial suppression of the human immune system, the development of computerization and the emergence of the foundations for artificial intelligence, prohibitive information loads with low information content of digital information itself, volatility and virtuality of emerging new financial resources, the possibility of the appearance of specific bacteria and viruses that have been frozen for thousands of years in the Antarctic ice and unexplored underground facilities in Siberia, active and progressive pollution of the environment, space exploration, including feedback with spacecraft flying to planets and satellites of the solar system and much more. This is joined by widespread anthropogenic causes, including threats of atomic weapons, nuclear energy in comparison with natural disasters, problems of uneven distribution of energy resources and related political and military conflicts, ghosts of famine for entire peoples, problems of drinking water supply and military conflicts related to water scarcity, completely new approaches to the management of modern, the so-called hybrid wars are aimed at depletion of the vital potential and destruction of the material resources of the civilian pop-

ulation, international terrorism and global drug trafficking networks. Even such a representative, but incomplete list shows how the risks associated with human life support are increasing many times, and some of them are so actualized that they become a reality already in the present time.

If the above and similar areas generating dangers are lined up in one row, we will get a palette of all spheres of activity of modern man, without exception, and even the entire society — and everywhere there will be a real risk to some extent as a binary alternative to «pro-contra». Any of these and many other factors carries the risk of a new real danger not even for an individual, but a collective risk, and often for entire nations and even for the entire population of the planet, which indicates the high sociality of this indicator in the life of our society.

There is a field of knowledge that looks similar to the model considered in this study. Yes, this is a historical science. And not only.

Historical science, as well as quantum mechanics and some other fields of knowledge, effectively exploit Richard Feynman's concept of the multiplicity of stories. Without being distracted by the purely specific content of the concept in various sciences, its essence consists of the absence of uniqueness of events that make up the historical structure of the past (in history) or the future (in cosmology), uncertainty in quantum physics, etc. The multiplicity of possible events from the future that cosmology generates from theoretical hypotheses of the development of the universe, or the multiplicity of historical events from the past that history generates from archaeology, writings, and artifacts, have one essential basis: variability depending on the conditions accompanying certain events (future or past) and their dependence on energy and the consistent logic of the development of the events themselves.

Such a concept has a right to exist in event-based riskology. Here, for some nodal time point T_H , there is always a fan-arranged set of potential events, which in one way or another, including energetically, are associated with a single event in this time interval, which can take place as a real risk-forming one. These are events predicted in

the future, or events estimated in the past and capable of repetition in the future. The fan-shaped multiplicity of risk-related events is a parametric matrix, the only result of which is a binary representation (0, 1) of expected events from among this set, which, due to possible energy changes, passes from a state of uncertainty into a well-defined risk-forming state.

Such a comparison of events over time in many comparative parameters could be an argument against our approach to the concept of event risk, for example, through the prism of the arrow of time, which is present both in history and in risk formation. But this is not the case.

Historical determinism for a sequence of possible events seems to be a fanatically divergent *uncertainty* over time. The determinism of risk-forming events is convergent, oriented, approaching the present time, to a minimum number of specific events with a known energy content that can lead to the realization of not a potential, but a *well-defined* risk. In a historical period of time, we do not know the real event of the future. Because it is not related to any source data, for example, the continuity of the energy of events. The sequence of risk-forming events obeys only one rule — either the final event gives zero risk, or it gives a real risk, measured by a unit, in the amount of predetermined variants of events preceding the formation of a pattern.

Causal links and the sequence of events preceding the realization of risk, for all their external similarity to historical science, cannot structurally repeat the sequence of branching random events in history. But risk models are far from chaos and this differs from the state of deterministic chaos in predicting historical events.

Indeed, the sequence of risk-forming events is difficult to compare with historical deterministic chaos. Comparison is possible only in that part of it that relates to a chaotic dynamic system of the second level: the *existence of the reaction of the system itself to predictions about the vector of its development in the form of negative feedback*. In historical deterministic chaos, prediction is impossible precisely for this reason — the system is able to respond to its own disturbances, thus stabilizing its future state. Forecasting risk formation based on

previous data can influence the system on the principle of negative feedback, but thereby such a system minimizes its risks. It is the ability of a risk-generating system to respond to a forecast about its condition that allows it to avoid the risk of a final state of events equal to one. And it is precisely this difference that allows us to treat historical and risk-forming forecasting differently. If the first one does not make sense for the above reason, then the second one is based on data on the previous state of the system and at a given time is $\delta\tau \rightarrow 0$ able to find one of them that would meet the conditions of zero risk.

The understanding of risk has undergone significant and specific changes over the past decades, which are already being used by military specialists, financiers, bankers and economists, environmentalists, specialists in the field of medicine and in the field of civil protection. Unfortunately, there are almost no changes in science, especially in the basic, fundamental and conceptual part of it, corresponding to the current state of the issue.

Understanding risk as a probabilistic and statistical indicator, which we have used for many years, is no longer able to satisfy the consumer. And not only because life is showing increasingly dangerous qualities on the planet. Risk is becoming a pervasive factor in a wide variety of human activities. It is becoming more widespread and inevitable. Understanding its properties also moves away from individual risk towards a massive, global one. Moreover, individual risks can now be conditionally attributed to risks for local single-purpose groups of people, and mass (or global) risk is understood as a risk for entire peoples and even, in general, for everything existing on this planet. Let's agree that the risk for an individual and the risk for the entire population of the Earth are slightly different qualities of this concept. Never before in the history of mankind has there been such a comprehensive risk. Modern risk is present in human life, both in time and in space, constantly and always. At the same time, more and more energy is involved in the orbit of risk-forming events, thanks to which the risk becomes real and more widespread. It's time to talk about a comprehensive spatial network of risks. And, if its assessment is still carried out by probabilistic and statistical methods, or in other

ways — intuitive, algorithmic, analog, and even virtual or predictive, then such estimates become similar either to those far from objectivity, or highly inaccurate, or such that they are based on past statistics and, thereby are also not objective enough. At the same time, no one disputes the possibility of such an actual risk indicator as a post-priori risk assessment for a person. It is not enough to calculate the current risk, it is also necessary to show its temporal and spatial affiliation, to assess its energy prospects, that is, to present it as a harbinger of real danger to society or an individual.

Probabilistic methods of event risk assessment have their drawbacks, which make them difficult to objectively assess the risk itself. In addition to the above, another drawback lies in the initial isolation of such indicators from the time frame of the event, which is clearly unacceptable, given the globality and dynamism of such indicators as risks.

A wide range of knowledge is provided by methods of semantic analysis of the concept of «risk», in a simple way, highlighting historically emerging conceptual series of semantic designations that preceded the term «risk». Thus, the research emphasizes the continuity and historicism of the proposed formulations and their continuity with previous knowledge in this field. This approach simplifies the understanding of the content of the results obtained and increases the reliability of research.

It is proposed to use the concept of «events» in the expected future for risk assessment, as one of the uncertain states, and as a carrier of significant energy indicators of the system. Such indicators can plurally accumulate anytime in the future as the most reliable forecast and transit at the present time in the form of a single, well-defined value, through a buffer transition to certainty in the time period $\delta\tau \rightarrow 0$ preceding the present. This approach, as a first approximation, avoids probabilistic uncertainty in the calculations of the risk parameters of the system.

Summarizing what is stated in this paper, we have proposed a completely new formulation of the term «risk». This is a binary representation of the subjective expectation of an event at the boundary

of uncertainty, as a function of the arrow of time and minimizing the growth of entropy towards a certain state of this event.

In a simplified presentation, ready for application, *risk is an alternative and binary representation of the subjective expectation of an event at the boundary of uncertainty in the direction of its definite state.*

We drew attention to many properties of this concept, which roamed in a fragmented form according to literary sources, but together, allowed us to evaluate both qualitative and quantitative risk indicators differently. Such an analysis proved to be quite fruitful and presented new opportunities for risk assessment in various fields of human activity. Including those approaching the universality of this term.

Risks, denoted by their eventfulness, are characterized by such qualities as binarity, superpositionality, event continuity, energy and time interdependence of events, etc. Behind each of these qualities, some generalizing patterns allow not only to make quantitative comparisons but also to extrapolate the qualitative indicators of such systems and their numerical values for some perspective. Some of these patterns are reflected in this work, but the semantic paradigm of this term is not limited to these studies. In this sense, the book can be developed and continued.

In this work, perhaps for the first time, two scales are compared: temporal and event-oriented, directed in mutually opposite directions, and some important properties of each of them are investigated. Moreover, this is done in comparison with another important scale — the entropy scale, which looks very logical, since it allows us to form the concept of event risk as a category determined not only by time, and not only by the fact of successive events but also by the energy potential of the system, without which this event does not exist. The energy of the event, its direction, losses, and other qualities appear in a completely new understanding of the semantic content of the concept of «risk». In the context of the term «risk», energy is consistently provided, executed, and lost in strict accordance with the time scale and the scale of events from the future to the present and then to the past. Energy, in the opposite phase to the time scale, is provided in advance and is transformed sequentially in the present

and the future. Such a difference in speculative directions allows us to use a wide range of approaches and methods for the formation of quantitative and qualitative parameters for the concept of «risk», as well as to form its prognostic features, which are extremely relevant for modern society. At the same time, the analyticity of event risk is emphasized as the basis for risk management, event forecasting and numerical analysis.

A special aspect of the issue that we pay attention to in this work relates to the concepts of eventfulness in human life. The concept of an event gradually transforms from a purely philosophical one into a general social concept and refers to almost any meaningful meaning of human existence. An event, as a qualitative aspect of human existence, carries with it all the variety of states, actions, deeds, scenarios, and knowledge that a person operates not just throughout his life, but every minute, every second. At the same time, the universality of events for a person lies in the fact that they remain in the past, are envisaged in the future, and take part in the present. And, as shown above, it turns out that they can be able to anticipate the present tense, becoming a completely objective reality in it, allowing not only to predict their appearance but also to quantify their occurrence through an elusive moment of time «between the past and the future.» This latter quality of the event has not received a truly objective assessment in scientific research, although in a number of publications the authors come close to understanding this conditionally infinitesimal time interval, which turns the expected and impending event into a *fait accompli*. The relationship between a set of predicted events and one of them, which becomes a real risk-forming one, can serve as a prototype of a measure of danger and risk for such an event-containing system.

Taking into account the biological and social significance of the phenomenon under study, the risk, the authors drew attention to the approximation of the methods of its assessment to the methods of studying artificial intelligence. In particular, methods of mathematical logic, applied neural networks, a well-developed mathematical base for their digitalization, and methods of building and training neural models proved to be quite effective for describing event processes

accompanying risks and showed opportunities for managing such risks. The models obtained in this way make it possible, practically without human intervention, to find, compare, and highlight real-world risks and their corresponding events, predict their development in a known time interval, and provide conditions for minimizing such risks.

Of course, this is just one of the possible options for assessing real risks. But the approach itself can provide opportunities for further research in the field of risk management, to find new, more effective ways to implement it, given the relevance of risks to modern society in a variety of scenarios of its development.

One should be sure that such a direction or its variants will find application in many studies, not only fundamental but also narrowly applied, which are developing at a faster pace today than theoretical research. This work, according to the authors, can be a good source for a new understanding of the meaning of the term «risk» and its theoretical justification.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование свойств такого понятия, как «риск», представляется весьма увлекательным и полезным занятием. Актуальность таких исследований безусловна. Но...

Смысловая нагрузка, которую несет собственно понимание термина «риск» в современной литературе, уже давно претерпела общественно-социальную трансформацию в той же степени, в которой развивается самое общество. В сопоставлении даже с полувековой давностью в обществе появились новые вызовы и новые противоречия, которые могут измеряться риском наступления события. И некоторые из них оказались трудно- или вообще непреодолимыми. К ним относятся некоторые области развития науки, а именно, создание высокоактивных бактериальных штаммов, вирусов и бактериофагов, ранее неизвестные науке химические вещества, несовместимые с жизнью, достижения в области клонирования биологических особей, появление ранее неведомых вирусов и заболеваний, искусственное угнетение человеческой иммунной системы, развитие компьютеризации и появление основ для искусственного интеллекта, запредельные информационные нагрузки при низкой информативности самой цифровой информации, волатильность и виртуальность появляющихся новых финансовых средств, возможности появления специфических бактерий и вирусов, которые тысячелетиями были заморожены во льдах Антарктики и в неисследованных до сего времени подземных объектах в Сибири, активное и прогрессирующее загрязнение окружающей природной среды, освоение космического пространства, в том числе, обратная связь с космическими аппаратами, летающими к планетам и спутникам солнечной системы и многое другое. К этому присоединяются широко охватные причины техногенного характера, включая угрозы атомного оружия, ядерную энергетику в сопоставлении с природными катастрофами, проблемы неравномерности распределения энергетических ресурсов и связанные с этим политиче-

ские и военные конфликты, призраки голода для целых народов, проблемы питьевого снабжения и военные конфликты связанные с дефицитом воды, совершенно новые подходы к ведению современных, так называемых, гибридных войн — на истощение жизненного потенциала и тотальное уничтожение материального ресурса мирного населения, международный терроризм и глобальные сети наркотрафиков. Даже такой представительный, но неполный перечень показывает, как многократно увеличиваются риски, связанные с жизнеобеспечением человека, причем, некоторые из них настолько актуализируются, что становятся реальностью уже в настоящем времени.

Если вышеизложенные и им подобные области, генерирующие опасности, выстроить в один ряд, мы получим палитру всех без исключения сфер деятельности современного человека и даже всего социума — и везде будет в той или иной степени присутствовать реальный риск в качестве бинарной альтернативы «pro-contra». Любой из перечисленных и многих других факторов несет в себе риск появления новой реальной опасности даже не для отдельно взятого человека, а коллективный риск, причем часто для целых народов и даже, для всего населения планеты, что показывает на высокую социальность этого показателя в жизни нашего общества.

Существует область знаний, внешне похожая на рассматриваемую в данном исследовании модель. Да, это историческая наука. И не только.

Историческая наука, равно как и квантовая механика, и некоторые другие области знаний, эффективно эксплуатируют концепцию множественности историй Ричарда Фейнмана. Не отвлекаясь на чисто специфическую содержательность концепции в различных науках, ее суть состоит в отсутствии уникальности событий, составляющих историческую структуру прошлого (в истории) или будущего (в космологии), неопределенности в квантовой физике и др. Множественность возможных событий из будущего, которые космология генерирует из теоретических гипотез развития вселенной, или множественность исторических событий из прошлого, которые

история генерирует из археологии, письменностей и артефактов, имеют под собой одну существенную основу: вариабельность в зависимости от условий, сопутствующих тем или иным событиям (будущим или прошедшим) и их зависимость от энергетики, а также последовательной логики развития самих событий.

Такая концепция имеет право на существование и в событийной рискологии. Здесь для некоторой узловой временной точки T_n всегда находится всемерно расположенное множество потенциальных событий, которые так или иначе, в том числе, и энергетически, связаны с единственным событием в этом временном промежутке, которое может состояться как реальное рискообразующее. Это события, прогнозируемые в будущем, либо события, оцениваемые в прошлом и способные к повторению в будущем. Всемерная множественность событий, связанных с риском, представляет собой параметрическую матрицу, единственным результатом которой является бинарное отображение (0, 1) ожидаемых событий из числа этого множества, которые, благодаря возможным энергетическим изменениям, переходят из состояния неопределенности во вполне определенное рискообразующее состояние.

Подобное сравнение событий во времени по многим сопоставительным параметрам могло бы стать аргументом против нашего подхода к понятию событийного риска, например, через призму стрелы времени, присутствующей и в истории, и в рискообразовании. Но это не так.

Детерминизм исторический для последовательности возможных событий представляется всемерно расходящейся во времени *неопределенностью*. Детерминизм рискообразующих событий является сходящимся, ориентированным, с приближением ко времени настоящему, на минимальное количество конкретных событий, с известным энергетическим содержанием, способных привести к реализации уже не потенциального, а *воплне определенного* риска. В историческом отрезке времени нам неизвестно реальное событие будущего. Потому что оно не связано ни с какими исходными данными, например, преемственностью

энергетики событий. А последовательность рискообразующих событий подчиняется только одному правилу — либо итоговое событие дает нулевой риск, либо оно дает реальный риск, измеряемый единицей, в объеме наперед заданных вариантов событий, предшествующих рискообразованию.

Причинно-следственные связи и последовательность событий, предшествующих реализации риска, при всей их внешней схожести с исторической наукой, не могут по своей структуре повторять последовательности ветвления случайных событий в истории. Но модели риска далеки от хаоса и этим отличаются от состояния детерминированного хаоса при прогнозировании исторических событий.

Действительно, последовательность рискообразующих событий сложно сравнивать с историческим детерминированным хаосом. Сопоставление возможно только в той его части, которая относится к хаотической динамической системе второго уровня: *существование реакции самой системы на предсказания о векторе ее развития в виде обратной отрицательной связи*. В историческом детерминированном хаосе прогноз невозможен как раз по этой причине — система способна сама реагировать на свои возмущения, стабилизируя, таким образом, свое будущее состояние. Прогнозирование рискообразования на основании предыдущих данных способно влиять на систему по принципу обратной отрицательной связи, но тем самым такая система минимизирует свои риски. Именно возможность для рискообразующей системы реагировать на прогноз о своем состоянии позволяет избегать риска конечного состояния событий, равного единице. И именно такое отличие позволяет по-разному относиться к историческому и рискообразующему прогнозированию. Если первое не имеет смысла по вышеуказанной причине, то второе базируется на данных о предыдущем состоянии системы и в момент времени $\delta t \rightarrow 0$ способно найти такое из них, которое отвечало бы условиям нулевого риска.

Понимание риска на протяжении последних десятилетий претерпело значительные и специфические изменения, которыми

уже пользуются военные специалисты, финансисты, банкиры и экономисты, экологи, специалисты в области медицины и в области гражданской защиты. К сожалению, в науке, особенно в базовой, фундаментально-понятийной ее части изменений, соответствующих современному состоянию вопроса — почти нет.

Понимание риска, как вероятностно-статистического показателя, которым мы пользовались на протяжении многих лет, сегодня уже не способно удовлетворить потребителя. И не только потому, что жизнь проявляет все более опасные качества на планете. Риск становится всеобъемлющим фактором в самых различных областях деятельности человека. Он становится все более массовым и неотвратимым. Понимание его свойств также уходит от индивидуального риска в сторону массового, глобального. Причем к индивидуальным рискам теперь можно условно отнести и риски для локальных единоклассовых групп людей, а под массовым (или глобальным) риском понимается риск для целых народов и даже, в целом, для всего существующего на этой планете. Согласимся, что риск для индивида и риск для всего населения Земли — это несколько разные качества этого понятия. Никогда ранее в истории человечества не существовало подобного всеобъемлющего риска. Современный риск присутствует в жизни человека, как во времени, так и в пространстве, постоянно и всегда. При этом в орбиту рискообразующих событий вовлекается все больше энергии, благодаря которой риск становится реальным и все более массовым. Впору говорить о всеобъемлющей пространственной сети рисков. И, в случае если его оценивание, по-прежнему, осуществляется вероятностно-статистическими методами, или другими способами — интуитивными, алгоритмическими, аналоговыми и даже виртуальными или предсказательными, то такие оценки становятся похожими либо на далекие от объективности, либо сильно неточные, либо такие, что базируются на прошлой статистике и, тем самым, также недостаточно объективные. В то же время, никем не оспариваются возможности такого актуального показателя риска как постаприорной оценки риска для человека. Мало рассчитать современный риск, надо еще показать его временную

и пространственную принадлежность, оценить его энергетические перспективы, то есть представить его предвестником наступления реальной опасности для общества или для отдельного человека.

Вероятностные методы оценки рисков событий имеют свои недостатки, которые делают их затруднительными для объективной оценки самого риска. Кроме указанных выше, еще один недостаток кроется в изначальной оторванности таких показателей от временных рамок события, что явно недопустимо, учитывая глобальность и динамичность таких показателей, как риски.

Широкий спектр знаний дают методы семантического анализа понятия «риск», простым образом, выделяя исторически складывающиеся понятийные ряды смысловых обозначений, предшествовавших термину «риск». Таким образом, в исследованиях подчеркивается преемственность и историзм предлагаемых формулировок и их неразрывность с предыдущими знаниями в этой области. Такой подход упрощает понимание содержательности получаемых результатов и повышает достоверность исследований.

Предлагается использовать для оценки риска понятие «события» в предполагаемом будущем, как одно из неопределенных состояний, и как носителя значимых энергетических показателей системы. Такие показатели множественно могут накапливаться в некотором будущем как максимально достоверный прогноз и транзитироваться в настоящее время в виде одного, вполне определенного значения, посредством буферного перехода к определенности в период времени $\delta t \rightarrow 0$, предшествующий настоящему. Такой подход, в первом приближении, позволяет избежать вероятностной неопределенности в расчетах рискованных параметров системы.

Обобщая изложенное в данной работе, нами предложена совершенно новая формулировка термина «риск». Это бинарное отображение субъективной ожидаемости события на границе неопределенности, как функция стрелы времени и минимизации роста энтропии в направлении к определенному состоянию этого события.

В упрощенном изложении, готовом к применению в прикладных целях, *риск — это альтернативное и бинарное отображение субъективной ожидаемости события на границе неопределенности в направлении к его определенному состоянию.*

Мы обратили внимание на многие свойства этого понятия, которые в разрозненном виде кочевали по литературным источникам, но в совокупности, позволили по-иному оценивать как качественные, так и количественные показатели риска. Подобный анализ оказался достаточно плодотворным и представил новые возможности для оценки риска в самых различных областях человеческой деятельности. В том числе, и приближающиеся к универсальности этого термина.

Для рисков, обозначаемых через их событийность, характерны такие качества, как бинарность, суперпозициональность, событийная преемственность, энергетическая и временная взаимозависимость событий и др. За каждым из этих качеств стоит некоторые обобщающие закономерности, позволяющие не только производить количественные сопоставления, но и экстраполировать качественные показатели таких систем и их численные значения на некоторую перспективу. Некоторые из таких закономерностей отражены в данной работе, но этими исследованиями не ограничивается смысловая парадигма этого термина. В таком смысле книга может иметь развитие и продолжение.

В работе, возможно, впервые, сопоставлены две шкалы: временная и событийная, ориентированные во взаимно противоположных направлениях, и исследованы некоторые важные свойства каждой из них. Причем выполнено это в сопоставлении с еще одной важной шкалой — энтропийной, что выглядит весьма логичным, так как позволяет формировать понятие событийного риска, как категорию, определяемую не только временем, и не только фактом последовательных событий, но и энергетическим потенциалом системы, без которого это событие не существует. Энергия события, ее направленность, потери и другие ее качества выступают в совершенно новом понимании для смыслового содержания понятия «риск». В содержании термина «риск» энергия

последовательно предусматривается, исполняется и теряется в строгом соответствии с шкалой времени и шкалой событий от будущего к настоящему и, затем, к прошедшему. Энергия, в противофазе к шкале времени, предусматривается заранее, и трансформируется последовательно в настоящем и будущем. Такая разница в умозрительных направлениях позволяет использовать широкую палитру способов и методов формирования количественных и качественных параметров для понятия «риск», а также формировать его прогностические особенности, которые крайне актуальны для современного общества. При этом подчеркивается аналитичность событийного риска, как основа для управления риском, прогнозирования событий и численного анализа.

Особая сторона вопроса, на который мы обращаем внимание в данной работе, относится к понятиям событийности в жизни человека. Понятие события постепенно из чисто философского переходит в общее социальное понятие и относится практически к любому содержательному смыслу человеческого существования. Событие, как качественная сторона существования человека, несет в себе все многообразие состояний, действий, поступков, сценариев и знаний, которыми оперирует человек не просто на протяжении всей жизни, но каждую минуту, каждую секунду. При этом универсальность событий для человека заключается в том, что они остаются в прошлом, предусматриваются в будущем, принимают участие в настоящем. И, как показано выше, оказывается, могут быть способными предвещать настоящее время, становясь в нем вполне объективной реальностью, позволяющей не только прогнозировать их появление, но и количественно оценить их наступление через неуловимый миг времени «между прошлым и будущим». Это последнее качество события не получило по настоящему объективной оценки в научных исследованиях, хотя в ряде публикаций авторы вплотную подходят к пониманию этого условно бесконечно малого временного промежутка, который превращает предполагаемое и надвигающееся событие в свершившееся. Соотношения между множеством прогнозируемых событий и одним из них, которое становится реальным

рискообразующим, может служить прототипом меры опасности и риска для такой событийно содержащей системы.

Учитывая биологическую и социальную значимость исследуемого явления, риска, авторы обратили внимание на приближенность методов его оценки к методам изучения искусственного интеллекта. В частности, методы математической логики, прикладные нейронные сети, развитая математическая база для их цифровизации, способы построения и обучения нейронных моделей, оказались достаточно эффективными для описания событийных процессов, сопровождающих риски, и показало возможности для управления такими рисками. Получаемые, таким образом, модели позволяют, практически без участия человека, находить, сопоставлять и выделять потенциально существующие риски и соответствующие им события, прогнозировать их развитие в известном временном интервале и обеспечивать условия для их минимизации таких рисков.

Безусловно, что это всего лишь один из возможных вариантов для оценки реальных рисков. Но сам подход может давать возможности для дальнейших исследований в области рискологии, находить новые, более эффективные способы его реализации, учитывая актуальность рисков для современного социума в самых различных сценариях его развития.

Следует быть уверенными, что такое направление либо его варианты найдут применение во многих исследованиях и не только фундаментальных, но и узко прикладных, которые сегодня развиваются в опережающем темпе, по сравнению с теоретическими исследованиями. И данная работа, по мнению авторов, может стать хорошим источником для нового понимания смысла термина «риск» и его теоретического обоснования.

ЛИТЕРАТУРА

Литература к Введению:

1. Abraham H. Maslow. Motivation and Personality. 2nd ed. N.Y.: Harper&Row. 1970. 353 p.
2. Риск события: основные понятия и термины URL: <https://www.finam.ru/publications/item/risk-sobytiya-20230629-1032/>.
3. Найт Ф. Х. Риск, неопределенность и прибыль / Пер. с англ. М. : Дело, 2003.
4. Лукьянов Г. И. Концептуальное обоснование риска в контексте социальной реальности. *Философия и культура*. № 11 (47). 2011. С. 64.

Литература к первой главе:

1. Тамбовцев В. Л. Экономическая безопасность хозяйственных систем: структура проблемы. *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*. 1995. № 3. С. 3-9.
2. Устойчивое развитие. Новые вызовы / Под ред. В. И. Даниловой-Данильянц, Пискуновой А. М. : Изд. Аспект-пресс, 2015. 169 с.
3. Костина Н. В. Основные этапы развития теории риска. *Тр. Псковского политехнического ин-та. Экономика*. Псков, 2010. № 14.2. С. 194-199.
4. Бернштейн П. Против богов: Укрощение риска / Пер. с англ. М. : Олимп-Бизнес, 2000. 189 с.
5. Шевелев А. Е., Шевелева Е. В. Риски в бухгалтерском учете : учебное пособие. М. : КНОРУС, 2007. 280 с.
6. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / Пер. с англ. ; Под ред. и с доб. Н. Н. Воробьева. М. : Наука, 1970. 707 с.
7. Семенкова Т. Г. Издание трудов Смита в дореволюционной России и в советское время // Адам Смит и современная политическая экономия. Под ред. Н. А. Цаголова. М., 1979.
8. Kenett R. Towards a grand unified theory of risk. *Operational Risk*, London, Infroma Business Publishing, 2000. pp. 61-69.
9. Кардано Д. О моей жизни / Ред. и сост. Юрий Зарецкий. М. : Высшая школа экономики, 2012. 344 с.
10. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Исследование предпринимательской прибыли, капитала, кредита, процента и цикла конъюнктуры. М. : Прогресс, 1982. 455 с.
11. Хозяйственный риск и методы его измерения / Пер. с венг. Бачкаи Т., Мессена Д., Мико Д. и др. М. : Экономика, 1979. 184 с.
12. Горемыкин В. Н. Денежная сфера: анализ движения и генезис форм. *Финансы и кредит*. 2008. № 29 (317). С. 32-48.
13. Рудометкин С. В. Развитие механизмов риск-инжиниринга для укрепления экономической безопасности производственных предприятий: на материалах Ставропольского края. *Автореферат канд. дисс.* 2012.

14. Сергиенко А. А., Заяц О. А. Теоретические аспекты проблемы риска.
15. Мухина Е. Р. Исследование видов риска. Электронный научный журнал «APRIORI. СЕРИЯ ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ». URL: www.apriori-journal.ru.
16. Боброва Н. М. Основные подходы к определению и классификации рисков инновационной деятельности. *Российское предпринимательство*. № 8 (206). 2012. С. 44-48.
17. Тэпмон Л. Н. Риски в экономике : учебн. пособие для вузов / Под ред. проф. В. А. Швандара. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 380 с.
18. Кулик Ю. А., Валович В. Н., Привалов Н. Г., Козловский А. Н. Классификация и качественная оценка рисков инновационных проектов. *Записки горного института*. Т. 197. СПб., 2012. С. 124-129.
19. Романов В. С. Классификация рисков: принципы и критерии.
20. Авдюшкин С. М., Песоцкая Е. Ю. Информатизация бизнеса. Управление рисками. М. : ДМК Пресс, 2011. 176 с.
21. Барикаев Е. Н., Эриашвили Н. Д. Управление предпринимательскими рисками в системе экономической безопасности. Теоретический аспект : Монография. М. : ЮНИТИ, 2015. 159 с.
22. Черешкин Д. С. Управление рисками и безопасностью. М. : Ленанд. 2010. 200 с.
23. Акимов В. Л., Новиков В. Д., Радаев Н. Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. М. : Деловой экспресс, 2001.
24. Бадалова А. Г., Пантелеев А. В. Управление рисками деятельности предприятия : Учебное пособие. М. : Вузовская книга, 2015. 234 с.
25. Пампуро В. И. Оптимальное управление безопасностью экологически опасных объектов. К. : Наук. думка, 2012. 599 с.
26. Галасюк В. Н., Сорока М. И., Галасюк В. В. Понятие экономического риска в контексте концепции CCF. URL: <https://galasyuk.com/wp-content/uploads/2017/12/riski.pdf>.
27. Общество риска и человек: онтологический и ценностные аспекты. Саратов : ООО Изд. центр «Наука», 2006. 76 с.
28. Международный стандарт ISO-31000:2018. Управление рисками – Руководство. 2-я редакция 2018-02.
29. Демин В. Ф. Научно-методические аспекты оценки риска. *Атомная энергия*. Том 86, вып. 1. 1999. С. 46-63.
30. Пампуро В. И. Методологические ограничения метода дерева событий. *Доп. НАН Украины*. 2008. № 12. С. 161-165.
31. Пампуро В. И. Структурная информационная теория надежности систем. К. : Наук. Думка, 1992. 324 с.
32. Найт Ф. Х. Риск, неопределенность и прибыль / Пер. с англ. М. : Дело, 2003. 237 с.
33. Риск-менеджмент IT проекта. URL: <https://vc.ru/hr/137110-risk-menedzhment-it-proekta-7-samyh-rasprostranennyh-riskov-v-razrabotke-po>.
34. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности. Правила и предубежденности / Пер. с англ. Х. : Изд. Институт прикладной психологии «Гуманитарный центр», 2005. 632 с.

35. Beck U. Risk Society. Toward a New Modernity. I.: SAGE, 1992. 142 p.
36. Луман Н. Общество, интеракция, социальная солидарность / Пер. Т. Козловой и Е. Мещеркиной. *Человек*. 1996. № 3. С. 152-167.
37. Лаврушина Я. Н., Макарова А. А., Куликов А. В. Построение количественной модели операционного риска (технический риск – сбой в предоставлении ИТ-услуг) в статистически некорректной среде. *Бизнес-информатика*. 2012. № 2 (20). С. 42-49.
38. Абрамов М. А. Вероятностная оценка как средство управления системой защиты информационных ресурсов предприятия. *Информационные технологии и математическое моделирование: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Анжеро-Судженск : Издательство Томского университета, 2010. С. 3-7.
39. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М. : Статистика, 1974. 160 с.
40. Sommestad T., Ekstedt M., Johnson P.A. Probabilistic relational model for security risk analysis, *Computer & Security*, 2010. Vol. 29. № 6. P. 659-679.
41. Миков Д. А. Управление информационными рисками в системах дистанционного мониторинга состояния объекта. *Канд. дисс.* М. : МГТУ им. Баумана, 2018. 156 с.
42. Белецкий В. А. Оценка эффективности инвестирования в информационную безопасность предприятия на основе нечётких множеств: дис. ... канд. экон. наук. Пермь, 2012. 154 с.
43. Зикратов И. А., Одегов С. В. Оценка информационной безопасности в облачных вычислениях на основе байесовского подхода. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2012. № 04. С. 121-126.
44. Eren-Dogu Z.F., Celikoglu C.C. Information security risk assessment: Bayesian prioritization for AHP group decision making. *International Journal Innovation Computer Information Control*, 2011. Vol. 8. № 11. P. 8019-8032.
45. Арнольд В. И. Лекции о бифуркациях и версальных семействах. УМН, 1972. 27:2 С. 119-184.
46. Риски распределенных систем: методики, алгоритмы оценки и управления / Г.А. Остапенко [и др.]. *Информация и безопасность*. 2010. № 4. С. 485-530.
47. Baskerville R. An analysis survey of information system security design methods: Implications for Information Systems Development. *ACM Computing Survey*, 1993. P. 375-414.
48. Про прийняття розумних рішень. *Harvard Business Review*. 10 найкращих статей. Вид. КМ-Букс. 2019. 209 с.
49. Бехман Г. Современное общество: общество риска, информационное общество, общество знаний. М. : Логос, 2010. 248 с.
50. Калашникова Е. М. Философия риска как насущная проблема междисциплинарного познания. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/filosofiya-riska-kak-nasuschnaya-problema-mezhdistsiplinarno-go-poznaniya/viewer>.
51. М. Фридмен М., Сэвидж Л. Дж. Анализ полезности при выборе среди альтернатив, предполагающих риск. URL: <http://gallery.economicus>.

- ru/cgi-bin/frame_rightn.pl?type=in&links=../in/friedman/works/friedman_w1.txt&name=friedman&img=works_small.gif.
52. Лебедев М. А. Нейрокомпьютерные интерфейсы для расширения функций мозга. *Наука и инновации в медицине*. 2016. Т. 1. № 3. С. 11-27.
 53. Кирой В. Н. Интерфейс мозг-компьютер (история, современное состояние, перспективы). Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2011. 240 с.
 54. Газзанига М. Истории о разных полушариях мозга. Жизнь в нейронауке / Пер. Ю. Плискина, С. Ястребова. М. : Изд. Corpus. Сер.: книги политеха, 2021. 431 с.
 55. Laughlin S. Energy as a constraint on the coding and processing of sensory information. *Current Opinion in Neurobiology*. 2001. 11, 475-480 p.
 56. Kandel E. R., Schwartz J. H., Jessell T. M., Siegelbaum S. A., Hudspeth A. J. Principles of neural science (5th Edition). NY : McGraw-Hill Education / Medical, 2012. 1760 p.
 57. Dorogov A. Yu. Structure Synthesis of Fast Neural Networks. *Neurocomputers Design and Application*. (New York). Vol. 1. Issue 1. 2000. 1-18 p.
 58. Levy W. B. and Baxter R. A. Energy-efficient neuronal computation via quantal synaptic failures. *J. Neurosci*. 2002. 22, 4746–4755 p.
 59. Сварник О. Е. Активность мозга: Специализация нейрона и дифференциация опыта. М. : Изд-во «Институт психологии РАН», 2016. 190 с.
 60. Калиновский М. Г. Использование нейронных сетей в web-приложении. *56-я Научная Конференция БГУИР*, Минск, 2020. С. 330-331.
 61. Гафаров Ф. М., Галимянов А. Ф. Искусственные нейронные сети и их приложения : Учебн. пособие. Казань : Изд. Казанского университета, 2018. 121 с.

Литература ко второй главе:

1. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М. : Мир, 1990. 344 с.
2. Буянов В. П., Кирсанов К. А., Михайлов Л. А. Рискология. Управление рисками. М. : Изд. Экзамен, 2001. 384 с.
3. Постон Т., Стьюарт И. Теория катастроф и ее применение. М. : Мир, 1980. 607 с.
4. Макки М. С. Стрела времени: Истоки термодинамического поведения. Berlin Heidelberg New York: Springer, 1992. 172 p.

Литература к третьей главе:

1. Kozyrev N. A. On the possibility of experimental investigation of the properties of time. *Time in Science and Philosophy*. Prague, 1971. P. 111-132.
2. Козырев Н. А. *О воздействии времени на вещество. Физические аспекты современной астрономии (Проблемы исследования Вселенной; Вып. II)*. АН СССР. Л., 1985. С. 82-91.
3. Лаврентьев М. М., Еганова И. А., Луцет М. К., Фоминых С. Ф. О регистрации реакции вещества на внешний необратимый процесс. *Доклады АН СССР*, 1991. Т. 317. № 3. С. 635-639.

4. Козырев Н. А. Астрономическое доказательство реальности четырехмерной геометрии Минковского. *Время и звезды: к 100-летию Н. А. Козырева*. СПб. : Нестор-История, 2008. С. 132-140.
5. Ludwig W. Bestimmung und Vererbung der Asymmetrieform (Rechts-Links-Problem). *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft E.V.* 1936. Bd 38. S.21-73 (Zoologischer Anzeiger; 9. Supplementband).
6. Пампуро В. И. Оптимальное управление безопасностью экологически опасных объектов. К. : Наукова думка, 2012. 597 с.
7. Пампуро В. И. Анализ эффективности человеческого фактора в технологии оптимального управления экологической безопасностью человеко-машинных систем. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2002. 136. С. 32-54.
8. Feng N., Yu X. A. Data-driven assessment model for information system security risk management. *Journal of Computers*, 2012. Vol. 7. № 12. P. 3103-3109.
9. Sug B., Han I. The IS risk analysis based on business model. *Information and Management*, 2003. Vol. 41. № 2. P. 149-158.
10. Zhao D., Liu J., Zhang Z. Method of risk evaluation of information security based on neural network. *IEEE international Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2009. Vol. 1. № 6. P. 1127-1132.
11. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М. : Интернет-университет информационных технологий: Бином. Лаборатория знаний, 2008. 316 с.
12. Хокинг С. Краткая история времени. Изд.: Bantam Dell Publishing Group. 1988.
13. Пригожин И., Стенгерс И. Время хаос, квант. К решению парадокса времени / Пер. с англ. Ю. А. Данилова. М. : КомКнига, 2005. 232 с.
14. Менский М. Б. Квантовые измерения, феномен жизни и стрела времени: связи между «тремя великими проблемами» (по терминологии В.Л. Гинзбурга). URL: <http://www.ufn.ru/ru/articles/2007/4/j/>
15. Макки М. С. Стрела времени: Истоки термодинамического поведения. Berlin Heidelberg New York: Springer. 1992.
16. Диев В. С. Риски и неопределенность в философии, науке, управлении. *Вестник Томского гос. ун-та*. №2 (14). 2011. С. 79-90.
17. Рузавин Г. И. Неопределенность, вероятность и прогноз. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neopredelennost-veroyatnost-i-prognoz/viewer>.
18. Калмыков С. И., Глухов А. Т. Энтропия, информация и экологический риск. *Нива Поволжья*. № 2(7). 2008. С. 91-95.
19. Энтропия (стрела времени) – Entropy (arrow of time). URL: [https://ru.qwe.wiki/wiki/Entropy_\(arrow_of_time\)](https://ru.qwe.wiki/wiki/Entropy_(arrow_of_time)).
20. Кравченко С. А. Становление «стрелы времени» научного знания: вызовы и риски. *Социология и общество: социальное неравенство и социальная справедливость. Материалы V Всероссийского социологического конгресса*. Екатеринбург, 2016.
21. Богданов А. А. Тектология: всеобщая организационная наука. Л. – М. : Изд. 3-е. Книга. 1925. 300 с.
22. Бабанин А. Ф. Введение в общую теорию мироздания. Понятийный аппарат и физические основы мироздания. М. : Едиторал УРСС, 2004. 171 с.

23. Козырев Н. А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Изд. АН СССР Главная астрономическая обсерватория Пулково, 1958. 41 с.
24. Хокинг С. Краткие ответы на большие вопросы. Изд. «Apgads Mantojums». Рига, Латвия, 2016. -44 с.
25. Попов В. П. Разработка управленческих решений (многомерный подход). URL: https://bstudy.net/969372/ekonomika/raznovidnosti_riskov.
26. Дэвид Иглмен. Живой мозг. Удивительные факты о нейропластичности и возможностях мозга/ 2021. 341 с. URL: <https://loveread.com.ua/devid-iglmnen-zhivoi-mozg-udivitelnye-fakty-o/page-1.html>.
27. Постон Т., Стьюарт И. Теория катастроф и ее применение. М. : Мир, 1980. 607 с.
28. Прогнозирование рисков и энтропия событий. Aviation Expertise Bureau (AVEX)., 2013. URL: <https://avex.pro//2013/04/25/forecast.html>.
27. Михайлов В. С. Теории причинно-следственной связи и установление пределов ответственности. *Вестник Гражданского права*. М. : МГУ им. М. В. Ломоносова. № 4. 2019. С. 82-144.
30. Соктоев З. Б. Теории «адекватной» причинности и «необходимого причинения» в уголовном праве. *Криминалистический журнал ОГУЭП. Уголовно-правовые меры борьбы с преступностью*. № 3 (21). 2012. С. 60-65.
31. Кримінальне право України: Загальна частина : Підручник / М. І. Бажанов, Ю. В. Баулін, В. І. Борисов та ін. За ред. М. І. Бажанова, В. В. Сташиса, В. Я. Тація. Київ – Харків : Юринком Інгер-Право, 2001. 416 с.
32. Ярмыш Н. Н. Происхождение категории «случайная причинная связь» в философии и уголовном праве. *Право і безпека*. Харків. 2005. С. 25-28.
33. Абдуллаев А. Предельная реальность: обратимая причинность. В *материалах 20-го Всемирного философского конгресса*, Бостон: Центр философской документации, 2000. URL: <http://www.bu.edu/wcp/MainMeta.htm> Причинность – <https://ru.qaz.wiki/wiki/Causality#References>
34. Перминов В. Я. Проблема причинной связи в философии и естествознании. М. : Изд-во МГУ, 1979. 223 с.
35. Пахомова М. А. Принципы фиксации причинно-следственных отношений в языке. *Аспирантский вестник ОГПУ. Научн. журн*. 2005. № 1. С. 139-159.
36. Pearl Judea. The Book of Why? The New Science of Cause and Effect. Basic Books. 2018. 219 p.
37. Чернобровов В. А. Тайны времени. URL: [file:///C:/Users/vvs/AppData/Local/Temp/Temp1 Чернобровов%20Вадим.%20Тайны%20времени%20-20royallib.com.html.zip/ùÑà;«í«ó%20éáñ¼.%20Æá¬;ð%20éáÑ¼Ñ;¼;%20-%20royallib.ru.html#TOC_id3411760](file:///C:/Users/vvs/AppData/Local/Temp/Temp1%20Чернобровов%20Вадим.%20Тайны%20времени%20-20royallib.com.html.zip/ùÑà;«í«ó%20éáñ¼.%20Æá¬;ð%20éáÑ¼Ñ;¼;%20-%20royallib.ru.html#TOC_id3411760).

Литература к четвертой главе:

1. Шпаковский Р. П. О термодинамической «стреле времени». *Современные проблемы науки и образования. Электронный научный журнал*. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15522>.

2. Козырев Н. А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Изд. АН СССР Главная астрономическая обсерватория Пулково, 1958. 41 с.
3. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности. Вопросы управления сложными системами. М. : Наука, 2003. 428 с.
4. Калмыков С. И., Глухов А. Т. Энтропия, информация и экологический риск. *Нива Поволжья*. № 2 (7), 2008. С. 91-95.
5. Прогнозирование рисков и энтропия событий. Aviation Expertise Bureau (AVEX)., 2013. URL: <https://avex.pro//2013/04/25/forecast.html>.
6. Агеев И. Л., Дульнев Г. Н. и др. Регистрация удельного потока энтропии. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/registratsiya-udel'nogo-potoka-entropii/viewer>.
7. Харисов Г. Х., Бирюков Р. Н., Сидоренко Г. Г. Надежность технических систем и техногенный риск. М., 2012. 167 с.
8. Живетин В. Системные риски системной реальности. Учебное пособие. Институт проблем риска. М. : Изд. Бон Анца, 2015. 324 с.
9. Беспорядок существования: как энтропия движет Вселенной. URL: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/besporjadok-sushchestvovaniya>.
10. Теория счастья. Термодинамика классового неравенства. URL: <https://habr.com/ru/post/424071/>.
11. Лийв Э. Х. Инфодинамика как мировоззрение информационного общества. *Проблемы информатизации*. 2001. № 1.
12. Лийв Э. Х. Обобщенная негэнтропия. Ее поле деятельности и информационная среда. Таллинн : ТТУ, 2001.
13. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. Пер. с англ. / Под ред. И. В. Кузнецова. Изд. 2. М. : КомКнига, 2006. 272 с.
14. Кастлер Г. Возникновение биологической организации. М. : Мир, 1967. 231 с.
15. Бекман И. Н. Нелинейная динамика сложных систем. Теория и практика. М. : Изд. МГУ им. М. В. Ломоносова. 2018. 448 с.
16. Ashby W.R. Introduction to Cybernetics, Chapman & Hall, 1956, ISBN 0-416-68300-2 (также доступна в электронном виде как PDF файл на сайте Principia Cybernetica). Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М. : «Иностранная литература», 1959.
17. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М. : Физматгиз, 1960. 392 с.
18. Панченков А. И. Энтропия. Нижний Новгород : Интерсервис, 1999. 592 с.
19. Красовский А. А. Избранные труды. Теоретическая и прикладная теория управления. Последние проекты и открытия М. : Мысль, 2001. 389 с.
20. Касьянов В. А. Субъективный риск для предметных и рейтинговых предпочтений. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. 2014. № 4 (4). С. 36-41.
21. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. М. : Наука, 1977.
22. Заличев Н. Н. Энтропия информации и сущность жизни. М. : Радиоэлектроника, 1995.
23. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М. : Мир, 1973. 280 с.

24. Кобозов Н. И. Исследование в области термодинамики, процессов информации и мышления. М. : Изд-во МГУ, 1971.
25. Алексеев О. В. Материальность и идеальность синергетического подхода: Проблема идеальности в науке. М. : АСМИ, 2000.
26. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. М. : Мир, 2001. 351 с.

Литература к пятой главе:

1. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности. Вопросы управления сложными системами. М. : Наука, 2003. 428 с.
2. Алексеев Г. Н. Энергоэнтропика. М. : Знание, 1983. 164 с.
3. Файзулин Р. Ф. Проблема социальной энтропии в современном обществе. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2017. Т. 2. № 7 (14). С. 146-150.
4. Прангишвили И. В. Системный подход и системные закономерности. М. : СИНТЕГ, 2000. 312 с.
5. Лотоцкий В. Л. Энтропия и негэнтропия. *Перспективы науки и образования*. 2017. № 1 (25). С. 20-23.
6. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М. : Мир, 1985. 424 с.
7. Measures of Non-Gaussianity. URL: <http://fourier.eng.hmc.edu/e161/lectures/ica/node4html>.
8. Leibovici D. G., Bechmann C. An introduction to Multiway Methods for Multi-Subject fMRI experiment, FMRIB Technical Report 2001. Oxford Centre for Functional Magnetic Resonance Imaging of the Brain (FMRIB). Univ. Oxford, UK.
9. Лийв Э. Х. Инфодинамика как мировоззрение информационного общества. *Проблемы информатизации*. 2001. № 1. С. 31-36.
10. Мелкадзе Г. И. Закономерность обратимости явлений. *Georgian Engineering News*. 2003. № 5. С. 150-159.
11. Климентович Ю. М. Статистическая теория открытых систем. М. : Изд.: Янус, 2001. 305 с.
12. Буданов В. Г. Эссе о динамическом хаосе. URL: <http://www.spkurdyumov.narod.ru/>.
13. Дулесов А. С., Хрусталева В. И. Определение энтропии как меры информации при сопоставительных прогнозных и фактических показателей предпрятия. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 1. С. 41-45.
14. Цветков В. Я. Информационная неопределенность и определенность в науках об информации. *Информационные технологии*. 2015. № 1. С. 3-7.
15. Цветков В. Я. Рассеяние в информационных процессах. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 5. С. 141-142.
16. Лийв Э. Х. Обобщенная негэнтропия. Ее поле деятельности и информационная среда. Таллинн : ТТУ, 2001.

17. Седов Е. А. Информационно-энтропийные свойства социальных систем. *Общественные науки и современность*. 1993. № 5. С. 92-100.
18. Дмитриев И. В. Определяющая роль конфигурационной энтропии в строении материи. Принцип максимума конфигурационной энтропии. Самара : Самар. КН. изд., 1999. 50 с.
19. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М. : Прогресс, 1986. 432 с.
20. Информационная энтропия. Формула Шеннона. URL: http://inf-w.ru/?page_id=597.
21. Нечаев В. В., Дарьин А. В. Интеллект – стратегический ресурс информационного общества. *Проблемы идеальности в науке. Материалы международной конференции*. М. : АСМУ, 2001. № 1. С. 37-41.
22. Неопределенность и ситуация с риском. URL: <http://www.risk24.ru/неопред.htm#:~:text=%D0%A1%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D1%80%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B0%20%2D%20%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D1%81%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8,%D1%82%D0%BE%2C%20%D1%87%D1%82%D0%BE%20%D0%BD%D0%B5%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%B5%D1%82%D1%81%D1%8F%20%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B5>
23. Щеголева Н. В. Применение энтропии для оценки неопределенности дорожно-транспортных ситуаций. *Вестник Саратовского гос. техн. университета*. 2015. № 3 (52). С. 42-48.
24. Щеголева Н. В. Учет суммарной энтропии дорожно-транспортных ситуаций при определении риска потерь и информации. *Вестник Саратовского гос. техн. университета*. 2016. № 6. С.1-5.
25. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика. М. : Наука, 2000. 432 с.
26. Кретов В. С., Фролов И. В., Пинчук И. С. Информационная поддержка мониторинга международных политических конфликтов. *Проблемы информатизации*. 2001. № 1. С. 22-30.
27. Диев В. С. Риск и неопределенность в философии, науке, управлении. *Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология*. 2011. № 2 (14). С. 79-90.
28. Владимиров В. А., Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. и др. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика. М. : Наука, 2000. 431 с.
29. Постон Т., Стьюарт И. Теория катастроф и ее применение. М. : Мир, 1980. 607 с.
30. Теоретические и практические аспекты принятия решений в условиях неопределенности и риска / С. Б. Богоявленский. СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2014.
31. Волошин В. С. К вопросу о роли человека в экосистеме «Земля». *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. 7-ма міжнародна науково-практична конф.* Харьков – Алушта, 2011. С. 23-27.

32. Симпонуеску К., Денеш Ф. Происхождение жизни. Химическая эволюция. М. : Мир, 1986. 120 с.
33. Tjeerd H. van An del. New Views on an Old Planet. Cambridge University Press, 1994-10-28.
34. Harry J. Dowsett, Mark A. Chandler, Thomas M. Cronin, Gary S. Dwyer. Middle Pliocene sea surface temperature variability. *Paleoceanography*. 2005-06. Т. 20, вып. 2.
35. Данные о мировой энергетике и климате – Ежегодник 2022. URL: <https://energystats.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>.
36. Печуркин Н. С. Энергия и жизнь. Новосибирск : Наука, 1988. 188 с.
37. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2002. 559 с.
38. Фокс С. Энергия и эволюция жизни на Земле. М. : Мир, 1992. 216 с.
39. Хильми Г. Энергетика и продуктивность растительного покрова суши. Л. : Гидрометеониздат, 1976. 62 с.
40. Хрисанфорова Е. Н., Мажуга П. М. Очерки эволюции человека. К. : Наукова думка, 1985. 136 с.
41. Manabe S., Wetherald R. Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. *Journ. Atmospheric Sciences*. 1967. V. 24. P. 241-259.
42. Schroder K.P., Smith R.C. Distant future of the Sun and Earth revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2008. V. 386. P. 155-163.
43. Еськов Е. К. Эволюция Вселенной и жизни. Энергетический баланс Земли. Адамант Моторс, Чернигов, 2015. URL: [_balans_zemli](#).
44. Ларин В. Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М. : Агар, 2005. 248 с.
45. Энергетика мира и перспективы ее развития. М. – Л., 1964.
46. Потребление нефти странами мира. URL: <http://iformatsiya.ru/tabl/539-potreblenie-nefti-stranami-mira.html>.
47. 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>.
48. Elkana Y. The discovery of the conservation of energy, with a foreword by I. Bernard Cohen, Hutchinson Educational. 1974.
49. 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.
50. Загрязнение атмосферы. Глобальные проблемы человечества. URL: http://www.globaltrouble.ru/ekologiya_atmosfery_gidrosfery_pedosfery/zagryaznenie_atmosfery.html.
51. Центр анализа информации о двуокиси углерода, Окриджская национальная лаборатория, США. Отчеты за 1990–2012 гг. URL: <http://new.atomicenergy.ru/organizations/okridzhskaya-natsionalnaya-laboratoriya>.
52. Бюллетень МАГАТЭ, 2015. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/bull563_sept2015_ru.pdf.

53. Бюллетень МАГАТЭ, 2000. Декабрь. Вопросы энергетики и обсуждение проблемы глобального потепления. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/vol42_no4_russian_ru.pdf.
54. 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>.
55. BP Statistical Review of World Energy, 2015. URL: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
56. Белов С. Н. Чистое топливо будущего. *Российские недра*. 2006. № 18 (31).

Литература к шестой главе:

1. Диев В. С. Риск и неопределенность в философии, науке, управлении. *Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология*. 2011. № 2 (14). С. 79-90.
2. Бех У. От индустриального общества к обществу риска. *THESIS: альманах*. М. : 1994. Вып. 5.: Риск, неопределенность, случайность. С. 161-168.
3. Бернстайн П. Против богов. Укрощение риска. М. : Олимп-бизнес, 2002. С. 19.
4. Волченко В. В. Риск в опыте философской рефлексии. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2016. Т. 11. С. 1181-1185. URL: <http://e-koncept.ru/2016/86255.htm>.
5. Демин П. И. Как формулировать риск. Портал по управлению цифровыми и информационными технологиями. URL: https://cleverics.ru/digital/2014/12/risk_def/.
6. Талеб Н. Одураченные случайностью. Скрытая роль шанса в бизнесе и жизни. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2011.
7. Лукьянов Г. И., Волченко В. В. Христианско-теологическая реконструкция места риска, мужества судьбы в деятельности социального субъекта. *Вестник СевКаз ГТИ*. Вып. 3 (22). 2015. С. 173.
8. Ортега-и-Гассет Х. Избранные труды / сост., предисл. и общ. ред. А. М. Руткевича. М. : Весь мир, 1997. 704 с.
9. Kahneman D. Prospect Theory : An Analysis of Decision under Risk : [англ.] / Daniel Kahneman, Amos Tversky. *Econometrica* : журн. 1979. Vol. XLVII. P. 263-291.
10. Tversky, Amos. Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty : [англ.] / Amos Tversky, Daniel Kahneman. *Journal of Risk and Uncertainty*. 1992. Vol. 5. 297-323.
11. Делез Ж. Логика смысла / Науч. ред. Я. Б. Толстов. Пер. Я. И. Свирского. М. : Изд. Центр «Академия», 1995.

Литература к седьмой главе:

1. Волошин В. С. Теория графов в инженерных расчетах. К. : Освіта України. 2016. 214 с.
2. Гафаров Ф. М., Галимянов А. Ф. Искусственные нейронные сети и их приложения : учебн. пособие. Казань : Изд. Казанского университета. 2018. 121 с.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Пер. Ю. А. Зуев, В. А. Точенов, 1992. 184 с. URL: postgraduate/Biblioteka_trudy/NejrokomputernTechnikaUossermen1992.pdf.
4. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение, Цветное издание. М. : ДМК-Пресс. 2017. 652 с.
5. Nielsen M. Intelligence augmentation. AI. Open Science. URL: [//neuralnetworksanddeeplearning.com](https://neuralnetworksanddeeplearning.com).
6. Chiyuan Zhang, at al. Deep Learning Requires Rethinking Generalization.
7. Devansh Arpit at al. A Closer Look at Memorization in Deep Networks. Communications of the ACM, 2021. P 154-177.
8. Arpit, D., Jastrzёbski, S., Ballas, N., Krueger, D., Bengio, E., Kanwal, M. S., Maharaj, T., Fischer, A., Courville, A., Bengio, Y., Lacoste-Julien, S. A closer look at memorization in deep networks. In International Conference on Machine Learning. D. Precup and Y.W. Teh, eds. 2017, 233-242.
9. Abraham. Adaptation of Fuzzy Inference System Using Neural Learning. *StudFuzz*. 2005. Vol. 181. P. 53-83.
10. Y. Le Cun et al. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition Neural Comput. (1989). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031320306002081>
11. Choromanska A. Henaff M. at. AI. The Loss Surface of Multilayer Network. Courant Institute of Mathematical Sciences, N.-Y. 2019. P. 192-204.
12. Кирой В. Н. Интерфейс мозг-компьютер (история, современное состояние, перспективы). Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2011. 240 с.
13. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. / Пер. с англ. М. : Изд. Дом «Вильямс», 2006. 1105 с.
14. Николенко С., Кадурын А., Архангельская Е. Глубокое обучение: погружение в мир нейронных сетей. СПб. : ПИТЕР, 2018. 477 с.

Литература к восьмой главе:

1. Hopfield J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the National Academy of Science 1982. Vol. 79 (8). P. 2554–2558. URL: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.79.8.2554>.
2. Hopfield J. J. 1984. Neural with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons. Proceedings of the National Academy of Science USA. 1984. Vol. 81, P. 3088-3092. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/216115521.pdf>

3. Hopfield, J. J., Tank, D. W. «Neural» computation of decisions in optimization problems. *Biol. Cybern.* 1985. Vol. 52, P. 141-152.
4. Hopfield J. J., Tank D. W. 1986. Computing with neural circuits: A model. *Science*. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.3755256>.
5. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Пер. Ю. А. Зуев, В. А. Точенов, 1992. 184 с.
6. Kosko B. (1987a). Bi-directional associative memories. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 18(1): 49-60.
7. Kosko B. (1987b). Competitive adaptive bi-directional associative memories. In *Proceedings of the IEEE First International Conference on Neural Networks*, eds. M. Caudill and C. Butler. Vol. 2. P. 759-766. San Diego, CA: SOS Printing.
8. Kosko B. (1987c). Constructing an associative memory. *Byte*, September. P. 137-144.
9. Гафаров Ф. М., Галимянов А. Ф. Искусственные нейронные сети и приложения : учеб. пособие. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2018. 121 с.
10. Редько В. Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. М. : Ленанд, 2015. 224 с.
11. Abadi M., Agarwal A., Barham P., Brevdo E. and oth. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems (Preliminary White Paper, November 9, 2015). URL: <https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/en/pubs/archive/45166.pdf>.
12. Cohen M., Grossberg S. Absolute stability of global pattern formation and parallel memory storage by competitive neural networks. *IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-13:815-926. 1983.
13. Витрувий Поллион. Об архитектуре (Десять книг об архитектуре) / Ред. А. Мишулина. Л. : Изд. Огиз, 1936. 342 с.
14. Аппиан Александрийский. Римская история / пер. с древнегреч. под ред. С. А. Жебелева, О. О. Крюгера, Е. С. Голубцовой, Л. Л. Кофанова. М. : Ладомир, 2002. 878 с.
15. Гиро П. Частная и общественная жизнь римлян / пер. с франц. С. П. Моравского. СПб. : Алетейя, 1995. 598 с.
16. Шуази О. Строительное искусство древних римлян / Пер. А. А. Сапожникова. Изд. ВААМ М.; Л., 1938. 281 с. URL: <https://science.totalarch.com/book/4686.rar>.
17. Античный способ производства в источниках / Под ред. С. Жебелева и С. Ковалева. Л. : Изд. ГАИМК, 1933. 596 с.
18. Бирд М. История Древнего Рима / Пер. с англ. М. : Альпина Нон-Фикши, 2017. 471 с.
19. Сергеев М. Е. Жизнь Древнего Рима. М. – Л. : Изд. Наука, 1964. 256 с.
20. Утченко С. Л. Хрестоматия по истории древнего Рима / Под ред. Утченко С. Л. М. : Соцэкгиз, 1962. 675 с.
21. Ученые земледельцы древней Италии (Катон, Варрон, Плиний Старший, Колумелла) / Пер. М. Е. Сергеев. М.; Л. : ЛОИ Наука, 1970. 317 с.
22. Грацианский Н. Г. Система полей у римлян по трактатам землемеров. *ВДИ*. 1940. № 1. С. 52-68.

23. Сергеев М. Е. Ремесленники Древнего Рима. Очерки. М.; Л. : Наука. 1968. 153 с.
24. Блаватский В. Д. Архитектура древнего Рима. Всеобщая история архитектуры. Т. 2, кн. 2. М., 1938.
25. Каркопино Ж. Повседневная жизнь древнего Рима. Апогей империи. М. : Молодая гвардия, 2008. 420 с.
26. Веллей Патеркул. Римская история / пер. с лат. А. И. Немировского, М. Ф. Машковой. *Малые римские историки: Веллей Патеркул, Анней Флор, Луций Ампейлий*. М. : Ладомир, 1996. С. 9-96.
27. Ливий Т. История Рима от основания города : в 3 т. / отв. ред. пер. с лат. Е. С. Голубцова. М. : Наука, 1989-1993. Т. 1. 1989. 575 с.; Т. 2. 1991. 526 с.; Т. 3. 1993. 767 с.
28. Appian. Roman history. Cambr. ; Mass. ; London : Harvard Univ. Press, 1913. Vol. IV : The Civil Wars, Books III-V. 690 p.
29. Dio Cassius. Historia Romana. Vol. III : Lib. L–LX. Lipsiae : Caroli Tauchnitii, 1829. 480 p.
30. Frontinus, Iulius S. Strategems. Aqueducts of Rome. Cambr. ; London : Harvard Univ. Press, 1925. 537 p.
31. Гиббон Э. История упадка и разрушения Римской империи / Ч. 1 ; [пер. с англ. В. Н. Неизвестного]. М., 1883. 543 с.
32. Ростовцев М. И. Общество и хозяйство в Римской империи : в 2 т. / [пер. с нем. И. С. Алексеевой, Г. В. Снежинской]. СПб. : Наука, 2000-2001. Т. 1. 2000. 400 с.; Т. 2. 2001. 412 с.
33. Утченко С. Л. Древний Рим. События. Люди. Идеи. М. : Наука, 1969. 323 с.
34. Voack A. E. R. A history of Rome to 565 A. D. N.-Y. : MacMillan, 1945. XIII. 552 p.
35. Parker H. M. D. A History of the Roman World from A. D. 138 to 337. London : Methuen et co. LTD, 1935. XII. 402 p.
36. Ridley R. T. History of Rome : a documented analysis. Roma, 1987. 696 p.
37. Государственный Закон О коммерческом учете тепловой энергии и водоснабжении.

Литература к девятой главе:

1. Finland cancels Olkiluoto 4 nuclear reactor - is the EPR finished. *Ecologist. Informed by Nature*. 2015. URL: <https://theecologist.org/2015/may/15/finland-cancels-olkiluoto-4-nuclear-reactor-epr-finished>.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр.: пер. с англ. М. : ОО «И.Д. Вильямс», 2006. 1104 с.
3. Zhernova P., Bodyanskiy Y. Kernel fuzzy clustering of data streams based on the ensemble of neural networks. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2018. No. 4 (6). P. 42-49.
4. Shmelov Y., Vladov S., Kryshan O., Gvozdk S., Chyzhova L. Research of classification method of TV3-117 engine rating operations based on neural network technologies. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2018. No. 4 (6). P. 93-102.

5. Джулли А., Пал С. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения = Deep learning with Keras. ДМК Пресс, 2017. 294 с.
6. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python = Deep Learning with Python. Питер, 2018. 400 с.
7. Ladbroke Grove rail crash. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ladbroke_Grove_rail_crash.
8. Paddington rail disaster: 'Her last words to me were goodbye, Daddy. The Daily Telegraph. 28 September 2014.
9. Ladbroke Grove rail disaster. URL: <http://www.london-fire.gov.uk/museum/history-and-stories/historical-fire-and-incidents/Ladbroke-grove-rail-disaster/>
10. Капский Д. В. Теоретические основы прогнозирования аварийности на конфликтных объектах. Дороги и мосты. Минск, 2006. С. 83-87.
11. Abadi M., Agarwal A., Barham P., Brevdo E. and oth. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems (Preliminary White Paper, November 9, 2015). URL: <https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/en/pubs/archive/45166.pdf>.
12. Cohen M., Grossberg S. 1983. Absolute stability of global pattern formation and parallel memory storage by competitive neural networks. IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC-13:815-926.
13. Eryurek T., Gilad U., Lakshmanan V., Kubunguchy-Grant A., Ashdown J. Data Governance: The Definitive Guide, and Tools to Operationalize Data Trustworthiness. Beijing-Boston-Tokyo. O'Reilly. 2021. 428 p.
14. Гуць В. С., Коваль О. А. Роуп-джампінг. Математичне моделювання. *Education and science of today. Intersectoral issues and development of science.* №327. Cambridge, UK, 2022. URL: [//efaidnbmnribpcajpcglcfindmkaj/file:///C:/Users/ASUS/Downloads/100%20\(1\).pdf](https://efaidnbmnribpcajpcglcfindmkaj/file:///C:/Users/ASUS/Downloads/100%20(1).pdf).
15. Коллери Ш. Бросая вызов притяжению: экстремальные виды спорта (Н. С. Кириллова, пер с англ.). Москва : АСТ-Пресс Книга. 2013. 77 с.
16. Козіна Ж. Л., Остроушко С. С., Репко О. О. та ін. Особливості сприйняття екстремальної ситуації людей з різними типологічними особливостями вищої нервової діяльності (на прикладі роуп-джампінгу). *Сборник статей XI Международной научной конференции «Физическое воспитание и спорт в высших учебных заведениях».* Харьков, 2015. С. 79-84.

Литература к десятой главе:

1. Есть лучший способ управлять данными о рисках. Новый стандарт интеллектуального управления рисками. URL: <https://insurwave.com/>
2. Новикова К. Двадцать примеров использования блокчейн технологий. Часть 2. 2022. URL: <https://digiforest.io/blog/20-blockchain-project-examples-part-2>.
3. Нараян П. Блокчейн. Разработка приложений / Пер. с англ. СПб. : БХВ-Петербург, 2019. 256 с.
4. Официальный сайт библиотеки Socket.IO. URL: <https://socket.io/>
5. ebSocket API Specification. URL: <https://www.w3.org/TR/websocket/>
6. web3.js - Ethereum JavaScript API. URL: <https://web3js.readthedocs.io/en/v1.8.1/>

7. URL: <https://solidity.readthedocs.io/en/develop/using-the-compiler.html>
8. URL: <https://Ethereum.github.io/browser-Solidity/>
9. Макфарланд Д. JavaScript и jQuery: исчерпывающее руководство. М. : «Диалектика», 2015. 880 с.
10. URL: <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/JavaScript-API#web3ethfilter>.

Наукове видання

Волошин В. С., Кле́нін О. В.

РИЗИК – АЛЬТЕРНАТИВНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

Підписано до друку 09.12.2024 р.
Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 28.83
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.