

УДК 004.832.28; 007.02

к.т.н., доцент Патракеєв І.М.,

к.т.н., доцент Зіборов В.В.,

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ПРАГМАТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕПЦІЇ МЕТАБОЛІЗМУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Розглянута в статті концепція метаболізму міського середовища допоможе в проведенні досліджень за такими напрямками як зменшення навантаження на стан довкілля, послаблення екологічних проблем та зменшення залежності від копальних природних ресурсів. Сутність концепції полягає в тому, що міське середовище є живий організм, в якому безперервно відбуваються перетворення та трансформація енергетичних, речових та інформаційних потоків. Методи та моделі процесів метаболізму дозволять реалізувати на практиці концепцію сталого розвитку міського середовища, яка є розвитком вчення В. І. Вернадського про ноосферу.

Ключові слова: місто як організм, енергетичний баланс, метаболізм, вільна енергія, потоки ресурсів, міське середовище, ентропія.

Постанова проблеми. Сьогодні людство переживає "урбаністичну еру", а тому особливої гостроти набувають питання, пов'язані з ефективним управлінням енергією споживання і енергією, яка витрачається на утилізацію відходів у містах. У зв'язку з цим особливу увагу привертає концепція "енергетичного балансу" міського середовища, яка була запропонована робочою групою Всесвітньої енергетичної ради (World Energy Council): вироблена енергія повинна покривати споживану енергію. Метаболізм міського середовища наскільки "гаряча" настільки і рідко вивчаема містобудівниками проблема. Такий стан пов'язаний по-перше з тим що метаболізм є не що інше як мережа обміну речовинними, енергетичними ресурсами та інформацією. Це реальна точка зустрічі природних, технологічних, соціальних, економічних процесів та їх трансформації одного в інше. Метаболізм є найважливішим інструментом пізнання реальної механіки руху ресурсів в такій складній системі як міське середовище.

Широке та тривале обговорення країнами Євроспільноти "Єдиної екологічної стратегії до 2020 року" було присвячено глобальним екологічним проблемам, динаміці росту населення, тенденціям росту споживання енергії та виснаження природних ресурсів. Цей план одержав назву "Стратегія 20-20-20". Відповідно до документа, до 2020 року рівень викидів вуглекислого газу в

атмосферу повинно скоротитися на 20% (у порівнянні з рівнем 1999 року), частка енергії з поновлювальних джерел у загальній структурі енергоспоживання — вирости до 20%, а загальні енерговитрати — скоротитися на 20% [7].

Інноваційна політика ЄС формується на панєвропейському, національному та регіональному рівнях на основі великої кількості стратегій, програм та планів, та характерною рисою інноваційної політики ЄС є різноманітність механізмів її реалізації. У переліку основних стратегічних документів, що визначають панєвропейську політику, є і нова програма "Стратегія 20-20-20" — спадкоємець Лісабонської стратегії [7].

Нова енергетична стратегія ЄС продиктована не тільки бажанням знизити залежність від імпортного палива, але й турботою про екологію: перехід до альтернативних джерел енергії повинен радикально поліпшити стан навколишнього середовища в Європі. ЄС запланувало скоротити викиди парникових газів на 20% до 2020 року та на 80-95% — до 2050 року. Відповідно до директиви ЄС, країни — члени Євросоюзу, зобов'язані вживати належні заходи, щоб забезпечити дотримання межових показників екологічних викидів підприємствами та автотранспортом. Для забезпечення подальшого зниження викидів CO₂ автомобільним транспортом, ще в 2011 році Єврокомісія прийняла "Стратегію на транспорті", відповідно до якої з 2050 року в європейських містах не повинно залишитися автотранспорту з бензиновими та дизельними двигунами, а 40% авіапалива повинно забезпечуватися альтернативними джерелами.

Підкреслено важливу роль енергії в міському середовищі (МС) та містобудівних системах в цілому, тобто акцентується увага на необхідності планування стійкого енергетичного розвитку МС.

Міське середовище — це нерівноважна система. Стан нерівноважності визначається масштабом антропогенних навантажень антропогенної складової міського середовища на довкілля. Показниками антропогенних навантажень можуть бути: щільність населення, площа забудованих та заощених територій, навантаження від ваги будинків та споруджень, обсяги промислового виробництва, рівень автомобілізації і так далі [1, 2].

Підсумовуючи вищесказане, слід зазначити, що на сучасному етапі досліджень, є можливість на якісному та кількісному рівні підійти до оцінки стану та ефективності МС. Такою можливістю може бути метаболізм енергетичних потоків у МС, як метод комплексного моделювання та оцінювання, що дозволяє розглядати такий складний об'єкт як міське середовище у всій його інтегральній цілісності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методологічні підходи у вивченні метаболізму МС пройшли довгий еволюційний шлях. Аналіз літератури [7, 8, 9, 13, 14, 15] показує, що останнє десятиліття характеризується підвищеною зацікавленістю в сфері досліджень які присвячені метаболізму в МС. Крім того, проведений аналіз дає можливість виділити два взаємозалежних і неконфліктних напрями в дослідженні міського метаболізму: перший напрям описує взаємодію між суспільством і навколишнім середовищем в енергетичних термінах, в той же час як другий напрям більш широко описує взаємодію на основі використання речовинних потоків (вода, паливо, їжа, матеріали).

Вперше концепцію "обміну речовин" запропонував К. Маркс у роботі "Основні риси критики політичної економії" (1857 — 1858 р. р.). К. Маркс відводив концепції "обміну речовин", розробленої в 1830-х роках біологами, фізіологами, а потім застосованої хіміками та фізиками, центральне місце у своєму розумінні взаємодії між природою та суспільством [2].

Стосовно до МС поняття метаболізму було застосовано в роботах [12, 13, 14, 15] для розробки стратегії стійкого розвитку міст і муніципальних співтовариств. Міський метаболізм може бути визначений як "загальна сума технологічних і соціально-економічних процесів, які відбуваються в міському середовищі та призводять до збільшення виробництва енергії і зниженню витрат на її споживання" [14].

Велика кількість сучасних робіт [20, 23, 24, 25] присвячена питанням біофізичної взаємодії між суспільством і довкіллям. Такий підхід забезпечується шляхом обліку використання ресурсів (енергії, матеріалів, землі і так далі) і результатам їх впливу на довкілля, а також на соціально-економічні характеристики міського середовища в цілому.

Сучасне поняття метаболізму МС засновано на аналогії з метаболізмом організмів, тобто таку аналогію можна провести і між МС та екосистемою [5]. Міста подібні живим організмам, які споживають ресурси з довкілля та виробляють біомасу і відходи. Поява метафори "місто як організм" пов'язано з еволюціонізмом Герберта Спенсера [3], який вперше провів аналогію між містобудівною системою і живим організмом.

Невирішені частини проблеми Результат аналізу іноземного досвіду висвітлює різноманіття підходів до виявлення параметрів міського середовища, які характеризують його сталий розвиток [1, 2, 3, 4, 5]. Українськими вченими висвітлюються проблеми в сфері оцінки сталого розвитку навколишнього середовища як на субнаціональному рівні [13] так і в контексті якості та безпеки життя людей [13]. В роботі [13] узагальнено де-які методичні підходи до оцінювання стійкого розвитку міста.

Сьогодні відсутність загально визначених методів, методичних підходів та технологій в оцінюванні ефективності міського середовища заважає муніципальним структурам приймати ефективні рішення щодо управління територіальним розвитком та впроваджувати ці рішення в життя. Міське середовище має великі резерви щодо відновлення енергетичного балансу і такі можливості треба враховувати в нових містобудівних моделях побудованих на основі оцінювання метаболічних процесів.

Метою дослідження є узагальнення поняття метаболізму в МС та обґрунтування методології і принципів застосування заявленої концепції до таких систем як міське середовище, які розрізняються як унікальними особливостями так і умовами життя, а також проаналізувати та виявити істотні енергетичні та речовинні потоки, які характеризують метаболізм МС та надати їх можливі характеристики.

Основні результати дослідження. Як було сказано вище споживання енергії і розвиток міста як штучного середовища перебуває в тісному зв'язку. Споживання енергії впливає на процеси урбанізації, що, у свою чергу, збільшує антропогенне навантаження на довкілля: підвищується щільність населення, розширюються території міст і агломерацій, зростає щільність забудови міських територій та насиченість їх інженерною інфраструктурою, збільшуються обсяги промислового виробництва, росте рівень автомобілізації. Як правило це призводить до загострення екологічних проблем в МС.

Міста займають не більше двох відсотків земної поверхні, однак вони використовують близько 75% всіх ресурсів планети, понад 70% світового споживання енергії припадає на міста. Під світовим споживанням енергії розуміється вся енергія від всіх енергоресурсів, що споживається людством, у всіх промислових і обслуговуючих секторах економіки в кожній країні. Будучи енергетичною мірою цивілізації, світове споживання енергії має найважливіше значення для екологічної та соціально-економічної сфер життя [15].

Таким чином, понад двох третин споживання повної енергії необхідно для забезпечення глобального метаболізму в довкіллі, що, у свою чергу, генерує більш ніж дві третини глобальної емісії CO₂ [16].

Отже, міста найбільше впливають на виснаження природних ресурсів та зміну клімату. Так згідно даним Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) кількість парникових газів збільшується рекордними темпами. У новому Бюлетні ВМО щодо парникових газів відзначається, що за чверть століття радіаційний вплив цих газів на атмосферу збільшився на третину. Це дає привід для занепокоєння — висновки показують, що, наприклад, концентрація CO₂ не просто зростає, вона зростає експоненціально. Радіаційний вплив CO₂ та інших парникових газів (таких як закис азоту (N₂O), метану (CH₄), а також менш

розповсюджені гази: гексафторид сірки, фторвуглеводень та перфторвуглеводень) збільшує щорічно сумарний радіаційний вплив на 34% з 1990 року.

З урахуванням цих особливостей справедливою видається образна характеристика міст як "паразитів біосфери", що дана американським екологом Ю. Одумом, у зв'язку з тим, що міста споживають величезну кількість кисню, води та інших нагадують ракові пухлини [23] (рис.1, рис.2, та рис.3). Це космічні знімки міст вночі, зроблені з висоти 300 км.

Такий занепокоєний сценарій вимагає вживання рішучих заходів, необхідних для того щоб зупинити тенденції споживання копалинного палива в містах та оптимізувати споживання енергії в різних сферах життя.

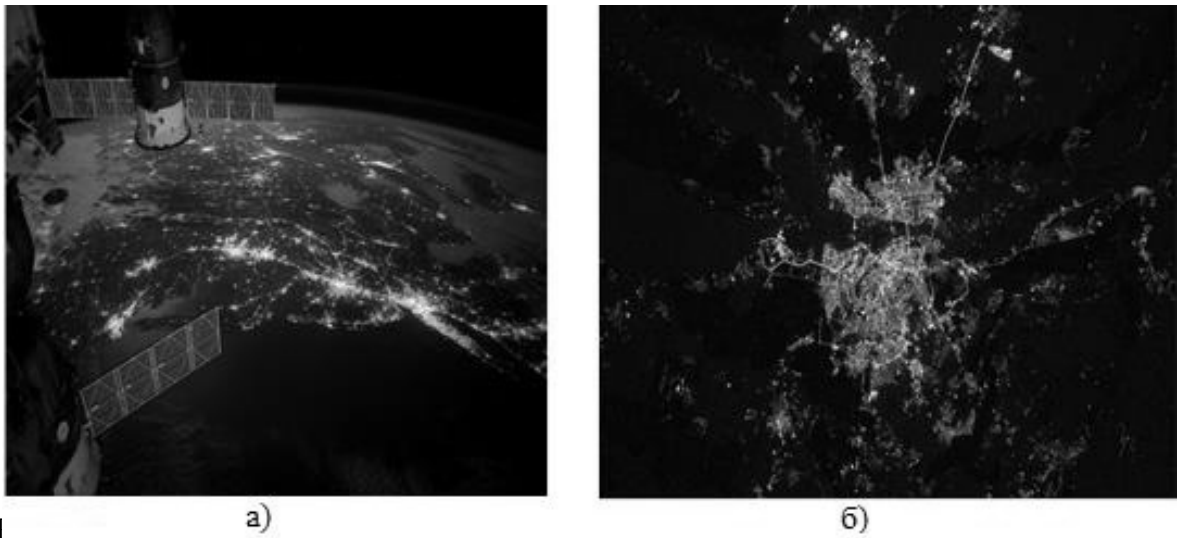


Рис. 1. а) Знімок міста уздовж Атлантичного узбережжя США, б) стародавнє місто Київ

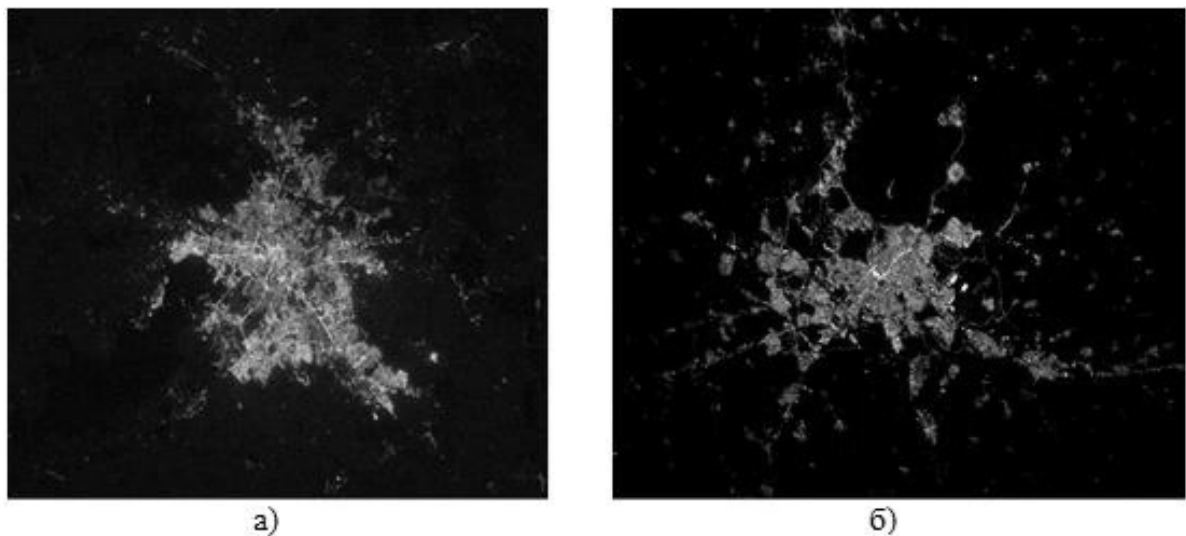


Рис. 2. а) Нічний Харків, б) місто Мадрид

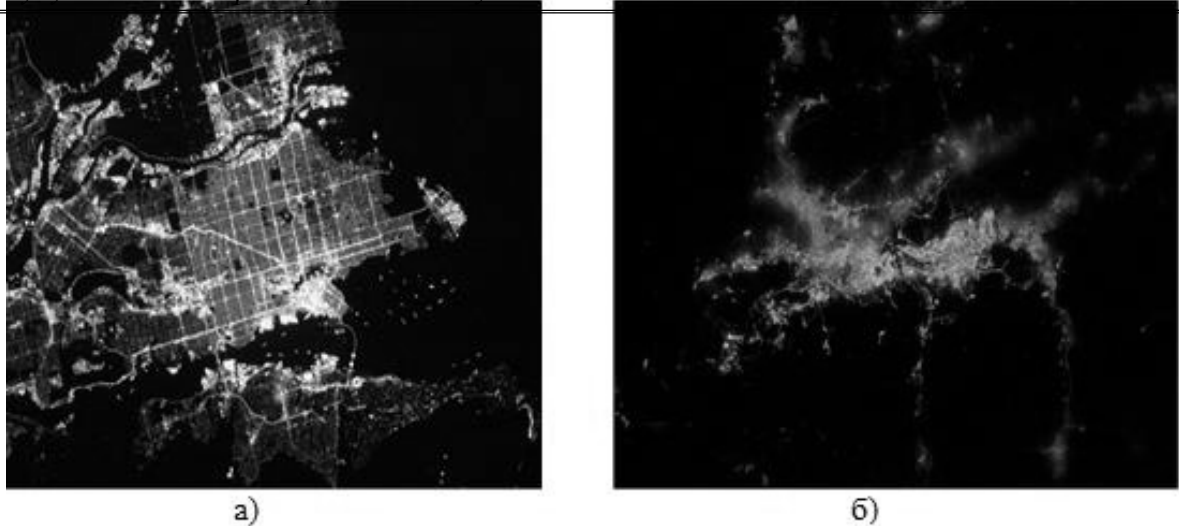


Рис. 3. а) місто Ванкувер, б) нічний Більбао

Беручи до уваги сучасний стан економіки та технологій, необхідно розробити нову енергетичну парадигму, що дозволить розглядати міста як частину єдиної екосистеми та перейти від лінійного процесу споживання до циклічного (тобто переробка та відновлення) — це новий вектор розвитку, перехід від філософії мегаполісів до філософії "екополісів".

Нова енергетична парадигма дозволить створити сучасне ефективно працююче МС, підвищити ефективність процесів метаболізму в МС, отже, зменшити навантаження на довкілля, зменшити екологічні проблеми та залежність від копалинного палива.

На думку дослідників людство наближається до крапки, коли видобуток копалинного палива досягне максимуму з причин виснаження природних ресурсів, що буде мати самі непередбачувані наслідки для кліматичних змін та "продовольчої безпеки". Варто зазначити, що до 2100 року корисні копалини не повинні використовуватися як паливо, якщо світ хоче уникнути небезпечних наслідків глобальної зміни клімату. Така центральна думка доповіді, що висвітлена Міжурядовою групою експертів по зміні клімату (МГЕЗК), короткий огляд якого подано у Копенгагені, як результат інтенсивних тижневих дебатів вчених та державних діячів [16].

Основні індикатори метаболізму МС взаємозалежні між собою, внаслідок чого виникає ефект зворотного зв'язку. Наприклад, останні дослідження [13] показують, що збільшення валового внутрішнього продукту на 1% веде майже до еквівалентного збільшення споживаної енергії, а збільшення населення на 1% веде до збільшення споживання енергії на 2,2%.

Енергія — одне з найважливіших інтегруючих понять, яке дозволяє досліджувати взаємозв'язок між екосистемою і соціально-економічною системою МС. Наприклад, у роботі [9] енергія визначається як корисна енергія, що використовується безпосередньо або опосередковано для створення кінцевого

продукту чи для надання послуг. Корисна енергія дозволяє оцінити процеси, що відбуваються у МС при виробництві продуктів і послуг, більше того, може служити загальною метрикою екологічних та вироблених соціально-економічних цінностей [9]. В цілому енергія може бути використана, як загальний базис для вивчення речовинно-енергетичних потоків в соціально-економічних систем.

Підтримка життєдіяльності МС, кругообіг речовин, тобто, саме існування МС, залежить від постійного припливу енергії, необхідної як організмам, так і виробництву продуктів та послуг.

На відміну від речовин, що безупинно циркулюють в різних підсистемах міського середовища та можуть повторно використовуватися, енергія може бути використана тільки раз, тобто має місце лінійний потік енергії через міське середовище.

Однобічний приплив енергії, як універсальне явище природи, відбувається в результаті дії законів термодинаміки. Перший закон термодинаміки стверджує, що енергія може перетворюватися з однієї форми (наприклад, світла) в іншу (наприклад, потенційну енергію їжі), але не може бути створена або знищена.

Другий закон термодинаміки стверджує, що не може бути жодного процесу, пов'язаного з перетворенням енергії, без втрат деякої її частини. Певна кількість енергії в таких перетвореннях розсіюється в недоступну теплову енергію, а отже, безповоротно втрачається. Аналіз енергетичних потоків у МС базується на принципі максимального потоку Альфреда Лотка. В роботі [23] висловлюється гіпотеза А. Лотка: "...напрямок еволюції такий, що сумарний потік енергії, що проходить через систему, досягає максимальної величини, можливої для даної системи". В сучасних публікаціях [20, 23, 24, 25] показано, що ця гіпотеза приводить до такого трактування: ті системи, що найкраще (за інших рівних умов) використовують потоки енергії для існування та розвитку, ті будуть поступово збільшувати свою чисельність, що в свою чергу призведе до збільшення потоку енергії через систему.

На рис. 4 відображено найбільш раннє подання аналізу метаболізму в МС, де в інтегрованому вигляді подано основні потоки речовин та енергії з довкілля в місто і назад. Це одно з найповніших досліджень, проведених екологами Duvigneaud та Denaeyer-De Smet (1977).

Цікавий підхід в використанні концепту міського метаболізму продемонстрували студенти університету в Торонто (рис. 5), де було використано одиницю аналізу "метаболізм міського кварталу". Застосування метаболічного підходу (наприклад, вивчення руху потоків матеріалів) до

міського планування, на думку більшості вчених, повинно сьогодні стати практикою, а не поодиноким експериментом.

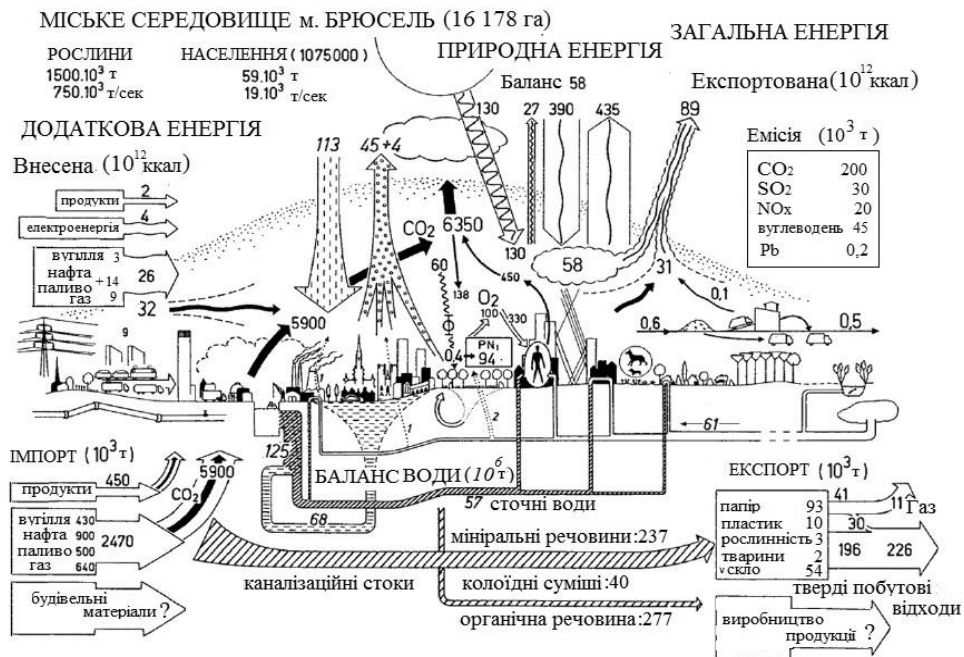


Рис. 4. Схема процесу метаболізму в місті Брюссель, автори Duvigneaud и Denaeyer-De Smet (1977 р.)

Місто споживає ресурси енергії у вигляді копалинного палива, їжі, води, використовує інформаційні ресурси, "втягує" нових мешканців, забезпечує розвиток виробництва та послуг. Результат функціонування МС відбивається не тільки у виробництві матеріальних ресурсів, нової інформації, але і значної кількості твердих, рідких і газоподібних відходів, що забруднюють природне середовище та мають негативний вплив, змінюють клімат і ландшафт.

Міське середовище розглядається зазвичай як відкрита нерівноважна система, яка характеризується високим ступенем внутрішньої організації.

Високий ступінь внутрішньої організації характеризується складними схемами людської активності, що реалізується в рамках міської території та характеризується складною морфологією міського простору. Така точка зору дозволяє застосувати основні положення термодинаміки для дослідження функціонування міського середовища як нерівноважної системи.

Ентропія і вільна енергія — це два основні поняття термодинаміки і можуть бути основою для розуміння процесів метаболізму в міському середовищі.

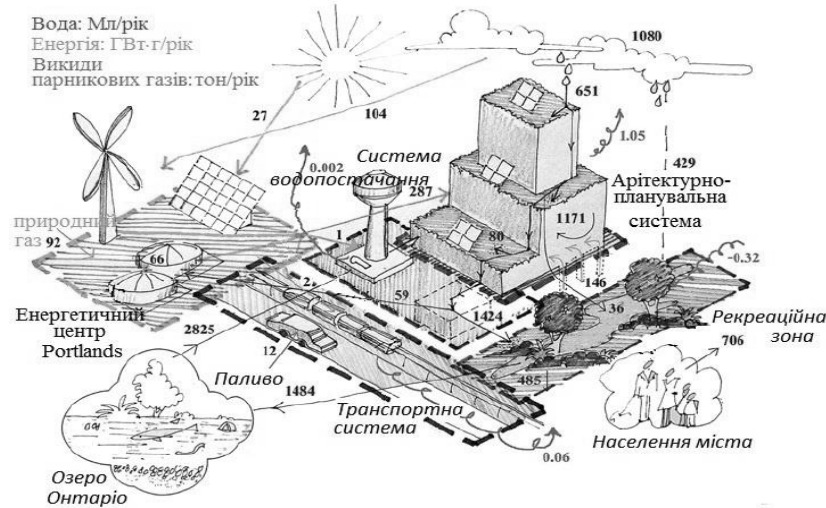


Рис. 5. Подання сталого метаболізму міського кварталу м. Торонто

Перший закон термодинаміки стверджує, що внутрішня енергія системи разом з її довкіллям залишається постійною. Це одне з формулювань закону збереження енергії. Таке формулювання свідчить про те, що при будь-яких змінах системи внутрішня енергія системи не втрачається і не отримується. В системі енергія може перетворюватися з однієї форми в іншу.

Другий закон термодинаміки стверджує, що ентропія системи при некерованих процесах зростає. В термодинаміці під ентропією розуміється міра невпорядкованості, хаотичності системи і досягає максимуму коли система приходить в рівновагу.

У нашому випадку ентропія є міра впорядкованості системи в залежності від інформаційного змісту: чим вище внутрішня організація системи (більш впорядкована структура системи) тим менше її ентропія.

Вільна енергія це та частина зміни внутрішньої енергії системи, яка може перетворюватися на роботу, інакше кажучи це "корисна енергія".

Вільна енергія визначається як

$$G = U - T \cdot S,$$

де U — внутрішня енергія системи;

T — температура системи;

S — ентропія системи.

Вільна енергія має чіткий та ясний зміст у термінах енергії вона може виконувати корисну роботу. У цьому сенсі вільна енергія може бути інтерпретована як енергія потенціалу розвитку міського середовища [24].

Зміна ентропії ΔS системи звичайно записується в термінах термодинаміки як сума двох складових:

$$\Delta S = \Delta S_{ext} + \Delta S_{int},$$

де ΔS_{ext} — зміна ентропії міського середовища в результаті обміну енергією та речовиною з довкіллям;

ΔS_{int} — зміна ентропії системи, яка пов'язана з незворотними внутрішніми процесами, що мають тенденцію до руйнування порядку в організації системи.

В більш загальній формі другий закон термодинаміки визначає, що внутрішня ентропія системи завжди позитивна: $\Delta S_{int} \geq 0$.

Фізичні, хімічні та біологічні процеси, які ведуть до зростання ентропії, звичайно називають дисипативними процесами. Високий рівень внутрішньої організації (відповідно, низький рівень ентропії) може підтримуватись в системі тільки за умов якщо ентропія, яка генерується внутрішніми незворотними процесами, зменшується на підставі постійного використання певних механізмів і технологій.

Зовнішню складову, пов'язану з обміном матеріально-енергетичними потоками між МС та довкіллям можна записати як:

$$\Delta G_{ext} = \Delta U_{ext} + \Delta S_{ext},$$

у той час як друга складова, яка пов'язана з внутрішніми процесами в МС, просто пропорційна виробленій ентропії:

$$\Delta G_{int} = -T \cdot \Delta S_{int}$$

(внутрішнє виробництво енергії дорівнює нулю тому що перший закон термодинаміки стверджує, що енергія не з'являється та не зникає, а тільки переходить із одного стану в інший).

З другого закону термодинаміки витікає, що внутрішні процеси мають тенденцію безповоротно розсіювати вільну енергію:

$$\Delta S_{int} \geq 0 \rightarrow \Delta G_{int} \leq 0.$$

Розподіл на ентропію та вільну енергію як для внутрішніх так і для зовнішніх процесів в системі дозволяє зрозуміти взаємозв'язок між підтримкою високого рівня організації в будь-якій системі та її деградацією: щоб протидіяти виснаженню вільної енергії через складні внутрішні процеси. Система повинна постійно поповнювати, імпортувати вільну енергію з довкілля. Термодинамічні методи корисні і, більше того, важливі для аналізу енергетичних перетворень, розуміння процесів самоорганізації та порушення порядку в таких складних системах як МС.

З цієї причини складна система може функціонувати тільки витрачаючи вільну енергію (тобто, природні ресурси), одержуючи їх з довкілля і взаємодіючи з ним. Крім того, тільки відкриті системи (системі, які інтенсивно обмінюються матеріально-енергетичними потоками з довкіллям) можуть стало підтримувати свій порядок, мати можливість до самоорганізації лише за умови безперервного надходження вільної енергії з довкілля [2, 8].

Сьогодні існує (ще не загальноприйнята) метаболічна точка зору на функціонування МС. Взагалі, метаболізм у біологічних організмах є сукупність хімічних процесів які відбуваються у всіх живих організмах і забезпечують виробництво як енергії так й інших речовин, необхідних для підтримки життєдіяльності. Як і будь-яка біологічна система, МС характеризуються матеріально-енергетичними потоками, які забезпечують і підтримують всі основні процеси необхідні для підтримки життєздатності міста. Як і біологічні системи, МС викидає у довкілля матеріально-енергетичні потоки у вигляді відходів життєдіяльності, сміття і тепла.

Термодинамічна і метаболічна точки зору тісно взаємопов'язані між собою, тому що метаболічна система це типовий приклад нерівноважної термодинамічної системи [1, 2].

Метаболічні та екологічні системи можуть бути представлені як хімічні машини, які виконують певну корисну роботу, в результаті якої перетворюються вхідні матеріально-енергетичні потоки з довкілля в енергію та речовини інших видів і форм. У результаті такої діяльності енергія та речовини інших видів і форм надходять у довкілля у вигляді відходів. Корисна робота, що витрачається в системи, спрямована на підтримку складної організації системи та її функціонування, збільшення її біомаси (рис. 6).

Відповідно до першого закону термодинаміки, кількість вільної енергії ΔG , якою обмінюється система з довкіллям, дорівнює сумі енергії ΔE , яка розсіяна у незворотних процесах і витрачена на виконання корисної роботи:

$$\Delta G = \Delta E + A.$$

Ефективність η такого хімічного перетворення визначається як відношення виконаної корисної роботи A до вільної енергії ΔG , якою система обмінюється з довкіллям:

$$\eta = A/\Delta G = (\Delta G - \Delta E)/\Delta G = 1 - \Delta E/\Delta G \quad (1)$$

З виразу (1) видно, що ефективною буде та система, яка мінімізує ступінь дисипації енергії ($\Delta E \rightarrow 0$) або ступінь виробництва ентропії ($\Delta S \rightarrow 0$).

Таким чином, математичний вираз (1) характеризує принцип мінімуму виробництва ентропії, з якого випливає, що процес самоорганізації може відбуватися тільки у відкритих системах шляхом обміну енергією і речовиною з довкіллям, що в свою чергу, забезпечує мінімізацію виробництва ентропії [4].

Ефективність буде збільшуватися, якщо система збільшує кількість виконаної корисної роботи на кількість отриманої вільної енергії.

Термодинамічний підхід можна застосувати до дослідження МС, як відкритої нерівноважної системи. Більшість метаболічних процесів в живих системах досить добре відомі, як з хімічної так фізичної точок зору та докладно викладено в літературі [1, 2, 4, 6, 5, 8].

Проведені в роботах [13, 14] дослідження показали, що багато міст Європи розрізняються за ступенем ефективності з точки зору метаболізму.

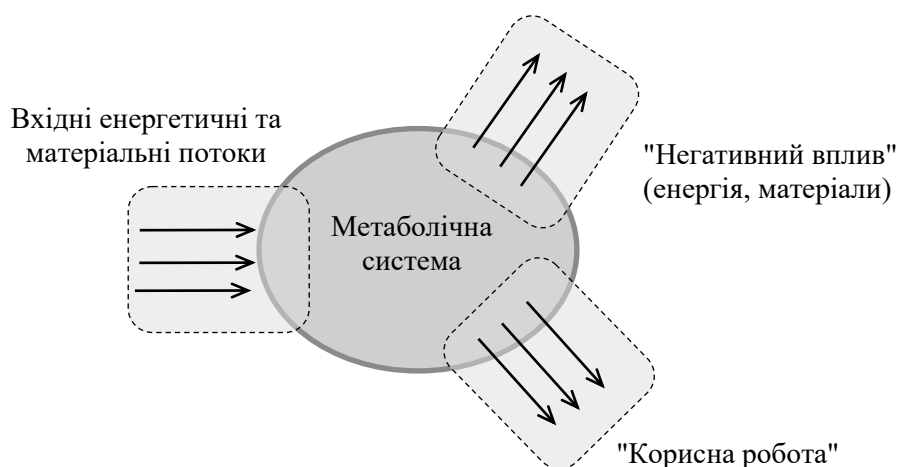


Рис. 6. Подання метаболічної та екологічної систем як хімічних машин що виконують роботу по перетворенню вільної енергії (у вигляді вхідних потоків) у вихідні матеріально-енергетичні потоки

Класифікація міст Європи була виконана по 22 параметрам (від щільності населення до можливої тривалості життя) з метою зрозуміти рівень ефективності їх функціонування (рис. 7). В Стокгольмі, Осло він дуже високий. Десь в середині списку йдуть Барселона і Париж, а вкінці — Будапешт, Бухарест (колишній радянський блок). Але важливо знати, чому одне місто більш ефективне, а інше менш, і як це можна змінити, тому що наслідки поганого метаболізму миського середовища — низька якість життя городян, висока вартість транспорту і так далі.

В умовах України при досліджуванні МС доводиться вирішувати проблеми пов'язані з визначенням та виміром кількісних показників метаболізму в різнорідних, різнотипних, гетерогенних підсистемах, які складають МС, у тому числі екологічних, соціально-економічних та інших.

Отже це завдання подальших досліджень, пов'язаних з аналізом домінантних чинників, які формують напрями та впливають на сталий розвиток міського середовища в умовах після індустріального етапу соціально-економічного розвитку України.

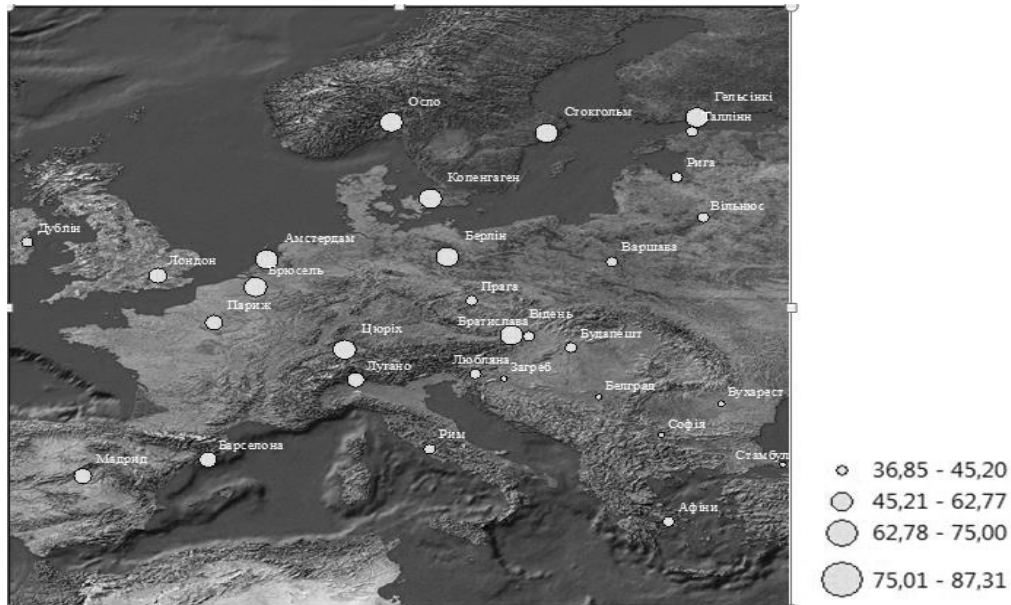


Рис. 7. Оцінка ефективності метаболічних процесів у містах Європи

Висновки. Аналізуючи вище викладене, можна констатувати, що аналіз речовинно-енергетичних потоків, вивчення процесів перетворення речовинно-енергетичних потоків є дуже важливим аспектом щодо оцінки метаболізму в МС. Сьогодні поняття метаболізму МС широко використовується в науковій літературі, але ще недостатньо досліджене [8]. Розроблення моделей метаболізму МС дозволить підняти на новий рівень продуктивність використання ресурсів, розширити присутність природи в життєвому просторі міста, створить міста із "замкнутим метаболічним циклом", відходи життєдіяльності яких не перевантажують і не знищують довкілля [8].

Методи та моделі метаболізму МС можуть мати практичну значимість для вирішення завдань контролю за використанням таких ресурсів як вода, енергія, матеріали, продукти та забезпечити порівнянність ефективності використання ресурсів в різних містах з метою забезпечення їх сталого розвитку.

Перспективні методи та моделі метаболізму МС дозволять забезпечити вирішення завдань підвищення ефективності управління природними ресурсами: визначити, які соціальні та екологічні ресурси близькі до виснаження, яким чином сповільнити їх споживання або використати інші стратегії заміщення ресурсів.

Всі основні підсистеми МС гармонійно взаємодіють і розвиваються лише в умовах, коли потоки енергії, речовини та інформації знаходяться у відповідних межах, та сприятливі людині та довкіллю.

Наразі, коли робляться спроби моделювання та прогнозування сталого розвитку такої надскладної системи як МС, застосування кількісних методів,

що використовувались впродовж останнього десятиліття, дозволили одержати лише часткові результати, тому що механізми, що спричиняють процесам розвитку та удосконалення МС, надзвичайно складні. В таких умовах важливим є міждисциплінарний підхід, який дозволить побороти труднощі пов'язані з моделюванням різних аспектів функціонування МС та забезпечити обчислювальну прозорість і ефективність процесу моделювання, а також реалізувати концепцію сталого розвитку МС, яка є розвитком вчення В.І. Вернадського про ноосферу [6].

Література

1. Большаков Б.Е. Научные основы проектирования в системе "природа — общество — человек" / Б.Е. Большаков — М. — СПб. — Дубна: Гуманистика, 2002. — 616 с.
2. Караваєва Н.В., Левченко Л.О., Трохіменко Я.М. Аналіз підходів до формування систем індикаторів сталого розвитку / Н.В. Караваєва, Л.О. Левченко, Я.М. Трохіменко // Збірник наукових праць "Управління розвитком складних систем".— К.:КНУБА, 2011. — Випуск 7. — С. 126-131.
3. Тістол Н.В. Концептуальний підхід до оцінки якості житлового середовища / Н. В. Тістол // Збірник наукових праць "Управління розвитком складних систем".— К.: КНУБА, 2013. — №13. — С. 130-135.
4. Сорокин П.А. Человек, цивилизация, общество. / П.А. Сорокин. — М., 1992. — 234 с.
5. Патракеєв І.М. Онтологічне дослідження міського середовища / І.М. Патракеєв // Збірник наукових праць "Управління розвитком складних систем".— К.: КНУБА, 2015. — Частина 1, №23. — С. 159-168.
6. Яншин А.Л. Учение В.И.Вернадского о биосфере и современность / А. Л. Яншин - Сборник "На пути к устойчивому развитию". — М., 2007. С. 39-61.
7. European Commission Directorate – General for Environment. Режим доступу: <http://ec.europa.eu/environment/climat>
8. Bettencour L.A. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities / Bettencour L. A., Lobo J., Helbing D. //Proceedings of the National Academy of Sciences, n. 104 — 2007.
9. Butera F. Planning eco-cities, the case of Huai Rou New Town / Butera F., Caputo P. // Proceedings of the 3rd International Solar Cities Congress, Adelaide – 2008.
10. Santamouris M. Cooling the cities. Rafrachir les Villes / Santamouris M — Paris, Ecole des Mines de Paris — 2004
11. Haurie A., Viguier L. The coupling of climate and economic dynamics. Essays on integrated assessment / Haurie A., Viguier L.// Vienna, Springer - 2004.
12. Butera F. UN Habitat — State of the World's Cities 2008-2009 / F. Butera — Harmonious cities, Earthscan. 2008
13. European Green City Index, Assessing the environmental impact of Europe's major cities. Research project conducted by the Economist Intelligence Unit — Munich: Siemens AG — 2009.
14. Kennedy, C. The Changing Metabolism of Cities / Kennedy C., Cuddihy J., Engel-Yan J.// Journal of Industrial Ecology, v. 11 n. 2 — 2007.
15. Caputo P. Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation. / Caputo P., Costa G., Manfren M.// Methods and models, London: Paperback — 2010.
16. Lozano S, E. Non-parametric frontier approach to modelling the relationships among population, GDP, energy consumption and CO₂ emissions / Lozano S., Gutierrez E. // Ecological Economics n. 66 — 2008.
17. Newman P. Cities and automobile dependence / Newman P., Kenworthy J. // An International Sourcebook, Farnham: Gower — 1989.

18. Rogers R. *Cities for a small Planet* / Rogers R.- London, Paperback — 1998.
19. Enkvist P. A cost curve for greenhouse gas reduction / Enkvist P., Naucler T., Rosander J.// *A global study of the size and cost of measures to reduce greenhouse gas emissions yields important insights for businesses and policy makers*, McKinsey quarterly, n. 02 — 2007.
20. Acebillo J. LNL — *La Nuova Lugano, Visioni, sfide e territorio della citta* / Acebillo J., Maggi R. // *Lugano: CUP-IRE* — 2008.
21. Allen S. *Points and Lines: Diagrams and Projects for the City.* / Allen S. — New York: Princeton Architectural press — 2009.
22. Bertalanffy L.V. *Teoria generate dei sistemi: fondamenti, sviluppo, applicazioni.* / Bertalanffy L.V. — Milano: Mondadori — 2004.
23. Graham S. *Splintering urbanism: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition* Graham S., Marvin S. — London: Routledge — 2013.
24. Harvey D. *Megacities Lecture 4.* / Harvey D. — *Possible urban Worlds.* Amersfort: Twynstra Gudde — 2011.
25. Newman, P. *Sustainability and cities: extending the metabolism model* / Newman P. — In *Landscape and urban planning*, n. 4, — 2004, pp. 219-226.

Аннотация.

Рассматриваемая в статье концепция метаболизма городской среды, поможет в проведении исследований по таким направлениям как уменьшение нагрузки на состояние окружающей среды, ослабление экологических проблем, уменьшение зависимости от ископаемых природных ресурсов. Сущность концепции заключается в том, что городская среда является живым организмом, в котором непрерывно происходят преобразования и трансформация энергетических, вещественных и информационных потоков. Методы и модели процессов метаболизма позволят реализовать на практике концепцию устойчивого развития городской среды, которая является развитием учения В.И. Вернадского о ноосфере.

Ключевые слова: город как организм, энергетический баланс, метаболизм, свободная энергия, потоки ресурсов, городская среда, энтропия.

Abstract.

Considered in the article the concept of the metabolism of the urban environment, help in conducting research in such areas as reducing the burden on the environment, the weakening of environmental problems, reducing our dependence on fossil natural resources. The essence of the concept is that the urban environment is a living organism in which continuous conversion and transformation of energy, material and information flows. Methods and models of metabolic processes will allow to put into practice the concept of sustainable development of the urban environment, which is the development of the doctrine of V. I. Vernadsky about noosphere.

Keywords: city as an organism, energy balance, metabolism, free energy, resource flows, urban environment, entropy.