

УДК 004.832.28; 007.02

Патракеєв Ігор Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінформатики і фотограмметрії, orcid.org/0000-0002-0448-8790
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**МЕТАБОЛІЗМ ЯК МЕТОД КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ
СТАНУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА**

Анотація: 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 це "гаряча" і невивчена містобудівниками проблема. Такий стан пов'язаний насамперед з тим, що метаболізм це мережа обміну речовинними, енергетичними ресурсами та інформацією. Це – реальна точка перетину природних, технологічних, соціальних, економічних процесів та їх трансформації одного в одиний. Метаболізм є найважливішим інструментом пізнання реальної механіки руху ресурсів у такій складній системі, як міське середовище. Змістом статті є аналіз суттєвих енергетичних та речовинних потоків, що характеризують метаболізм міського середовища. Розглянута в статті нова енергетична парадигма допоможе у проведенні досліджень за такими напрямками, як зменшення навантаження на стан довкілля, послаблення екологічних проблем та зменшення залежності від копального палива. Методи та моделі процесів метаболізму в міському середовищі дозволять реалізувати практично концепцію сталого розвитку міського середовища, яка є розвитком вчення В.І. Вернадського про ноосферу.

Ключові слова: метаболізм; потоки ресурсів; енергетичний баланс; міське середовище; ентропія; вільна енергія

Вступ

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 назвали "Стратегія 20-20-20". Відповідно до документа до 2020 року рівень викидів вуглекислого газу в атмосферу має 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 паневропейському, національному та регіональному рівнях на основі великої кількості стратегій, програм і планів, та характерною рисою інноваційної політики ЄС є різноманітність механізмів її реалізації. У переліку основних стратегічних документів, що визначають паневропейську 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 має 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 належних заходів, 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 акцентовано увагу на необхідності планування стійкого енергетичного розвитку МС.

Людство переживає "урбаністичну еру", а тому особливу гостроту набувають питання, пов'язані з ефективним управлінням енергією споживання та енергією, яка витрачається на утилізацію відходів у містах. У зв'язку з цим особливу увагу набуває концепція "енергетичного балансу" у МС, яка була запропонована робочою групою Всесвітньої енергетичної ради: вироблена енергія повинна покривати споживану енергію.

Потоки речовин та енергії, а також продуктів їх переробки, які розташовані на території міста, порушують матеріальний і енергетичний баланс природного середовища, змінюють природні процеси кругообігу речовин та переходу енергії по трофічних ланцюгах.

Місто – це нерівноважна система. Стан нерівноважності визначається масштабом антропогенних навантажень у місті 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 МС. Такою можливістю може бути *метаболізм енергетичних потоків* у МС, як метод комплексної оцінки і моделювання, що дозволяє розглядати такий складний об'єкт у всій його інтегральній цілісності.

Мета та задачі публікації

Методологічні підходи у вивченні метаболізму МС пройшли довгий еволюційний шлях. Аналіз літератури [7 – 9; 13 – 15] показує, що останнє десятиліття характеризується підвищеною зацікавленістю у 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, а 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 – 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 т. д.) 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.

Головною метою статті є узагальнення щодо поняття метаболізму в МС та обґрунтування методології і принципів застосування заявленої методології до містобудівних систем, які розрізняються як унікальними особливостями, так і умовами життя, а також проаналізувати і виявити істотні енергетичні та речовинні потоки, які характеризують метаболізм МС та надати їх можливі характеристики.

Виклад основного матеріалу

Потоки енергії та метаболізм міського середовища

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 антропогенні 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 призведе 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 довіллі, що, у свою чергу, генерує більш ніж дві третини глобальної емісії CO₂ [16].

Отже, міста найбільше впливають у виснаженні природних ресурсів та зміні клімату. Так, згідно даним Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) кількість парникових газів збільшується рекордними темпами. У новому Бюлетні ВМО щодо парникових газів зазначається, 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), метан (CH₄), а також менш розповсюджені гази: гексафторид сірки, фторвуглеводень та перфторвуглеводень) збільшує щорічно сумарний радіаційний вплив на 34% з 1990 року.

Такий тривожний сценарій вимагає вживання рішучих заходів, необхідних для того щоб зупинити тенденції споживання копального палива в містах.

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 надвиробництво 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 копального палива.

На думку дослідників людство наближається до точки, коли видобуток копального палива досягне максимуму з причин виснаження природних ресурсів, що буде мати самі непередбачувані наслідки для кліматичних змін та "продовольчої безпеки". Слід 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, яка обнародована Міжурядовою групою

експертів по зміні клімату (МГЕЗК), короткий огляд якої подано у Копенгагені, як результат інтенсивних тижневих дебатів вчених та державних діячів [16].

Наголошується, що основні індикатори метаболізму МС взаємозалежні, внаслідок чого виникає ефект зворотного зв'язку. Наприклад, останні дослідження 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% [13].

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 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 системах.

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.

Однібічний 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, який проходить через систему, досягає максимальної величини, можливої для даної системи". В сучасних публікаціях [20; 23 – 25] ця

гіпотеза приводить до такого трактування: ті системи, які щонайкраще – за інших однакових умов – використовують потоки енергії для існування та розвитку, будуть поступово збільшувати свою чисельність, що призведе до збільшення потоку енергії через систему.

На рисунку показано подання аналізу міського метаболізму в МС, де в інтегрованому вигляді представлено основні потоки речовин та енергії з довкілля в місто і назад. Це одне із самих ранніх і найповніших досліджень, проведених екологами Duvigneaud та Denaeyer-De Smet (1977).

Місто споживає ресурси енергії у вигляді копального 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 довкілля та негативних впливів, що змінюють клімат і ландшафт. Іншими словами, це корисна енергія – у контексті МС – це потенціал розвитку [24].

Вільна енергія Гельмгольца визначається так

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

де U – внутрішня енергія системи; T – температура системи; S – ентропія системи.

Вільна енергія має чіткий зміст у термінах енергії, що може перетворюватися в корисну роботу. У цьому сенсі вільна енергія може бути інтерпретована як енергія потенціалу розвитку МС.

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

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

де $\Delta_{ext} S$ – зміна ентропії МС в результаті обміну енергією та речовиною з довкіллям; $\Delta_{int} S$ – зміна ентропії системи, що пов'язана з незворотними внутрішніми процесами, які мають тенденцію до руйнування порядку в організації системи.

У більш загальній формі другий закон термодинаміки визначає, що внутрішня ентропія системи завжди додатна: $\Delta_{int} S \geq 0$.

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

Найцікавіший підхід з термодинамічної точки зору на МС, як складну нерівноважну систему, можна одержати, якщо розглянути зміну вільної енергії (енергії Гельмгольца) у внутрішніх і зовнішніх складових в ізотермічних процесах.

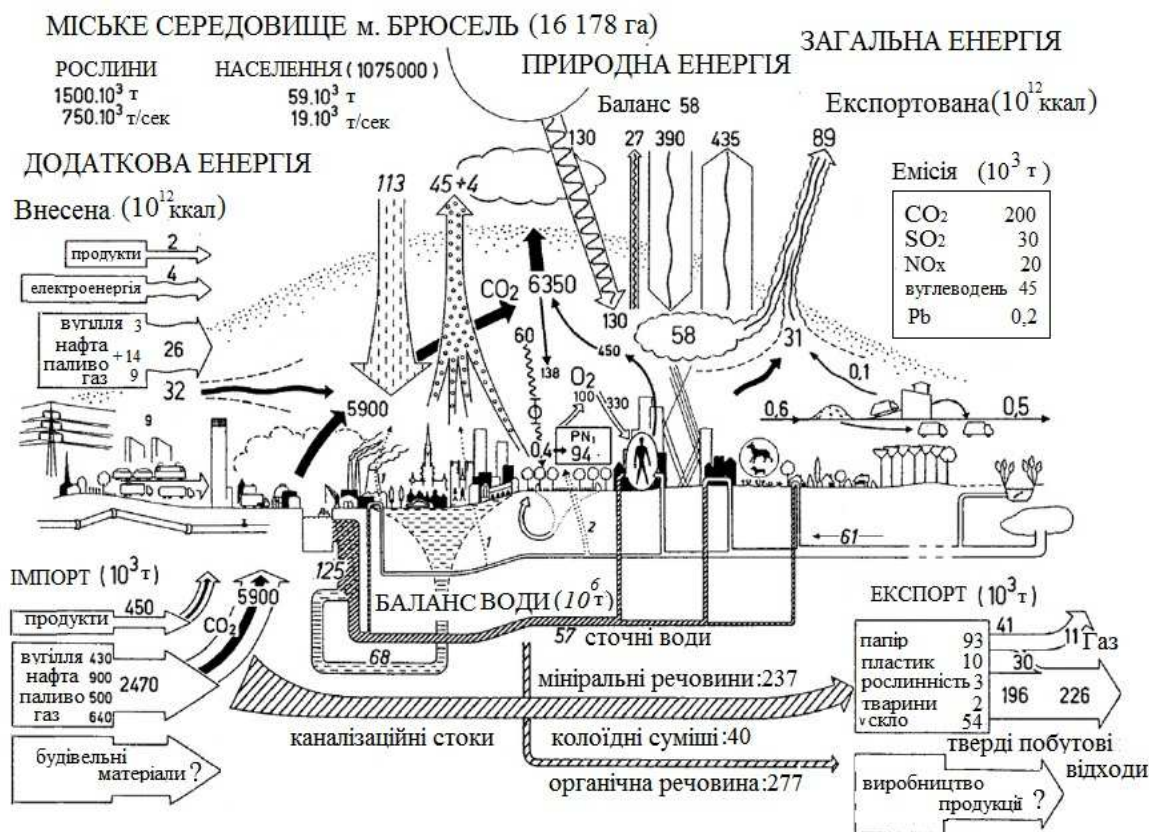


Рисунок – Схема процесу метаболізму в місті Брюссель, автори Duvigneaud u Denaeyer-De Smet (1977 р.)

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

$$\Delta_{ext} G = \Delta_{ext} U + \Delta_{ext} S,$$

а друга складова, яка пов'язана з внутрішніми процесами в МС, просто пропорційна виробленій ентропії:

$$\Delta_{int} G = -T \cdot \Delta_{int} S$$

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

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

$$\Delta_{int} S \geq 0 \rightarrow \Delta_{int} G \leq 0.$$

Розподіл на ентропію та вільну енергію як для внутрішніх, так і для зовнішніх процесів у 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 (природи). 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 речовинно-енергетичними потоками з довкіллям) можуть стійко підтримувати 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 це 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 характеризується 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, оскільки метаболічна система це типовий приклад нерівноважної термодинамічної системи [1; 2].

Метаболічні та екологічні системи можуть бути представлені як хімічні механізми, які виконують певну корисну роботу, у 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 системі, спрямована на підтримку складної організації системи та її функціонування і збільшення її біомаси. Відповідно до першого закону термодинаміки, кількість вільної енергії ΔG_m , якою обмінюється система з довкіллям, дорівнює сумі енергії ΔE , яка розсіяна у безповоротних процесах і витрачена на виконання корисної роботи:

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

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

$$\eta = \frac{A}{\Delta G_m} = \frac{\Delta G_m - \Delta E}{\Delta G_m} = 1 - \frac{\Delta E}{\Delta G_m}. \quad (1)$$

З виразу (1) видно, що ефективною буде та система, яка мінімізує ступінь дисипації енергії або ступінь виробництва ентропії.

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 і фізичної точки зору та докладно викладені в літературі [1; 2; 4; 6; 5; 8].

Стосовно МС доводиться вирішувати проблеми пов'язані з визначенням та виміром кількісних показників метаболізму в різномірних, різнотипних, гетерогенних підсистемах, які складають МС, у тому числі екологічних, соціально-економічних та інших. Отже, це завдання подальших досліджень, пов'язаних з аналізом рушійних сил, які формують напрями сталого розвитку системи "людина – суспільство – довкілля" загалом та МС зокрема.

Висновки

У статті показано, що аналіз речовинно-енергетичних потоків, вивчення процесів перетворення речовинно-енергетичних потоків

є дуже важливим аспектом щодо оцінки метаболізму в МС. Нині 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 більшу практичну значущість для вирішення завдань контролю за використанням таких ресурсів, як вода, енергія, матеріали, продукти та забезпечити порівнянність ефективності використання ресурсів у різних містах з метою забезпечення їх сталого розвитку.

Розроблення перспективних методів та моделей метаболізму в МС дозволить 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.

Сьогодні, 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, оскільки механізми, що спричиняють процеси 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].

За результатами експерименту з моделлю енергоспоживання фізичними особами, що виробляють сонячну енергію, зроблені висновки про динаміку зміни прибутку при варіації інтенсивності генерування та інтенсивності споживання сонячної електроенергії.

Таким чином, імітаційна модель енергоспоживання є потужним інструментом для оцінки ефективності впровадження альтернативних джерел енергії. У подальшому модель може бути розвинута для дослідження оцінки ефективності колективного споживання джерел сонячної електроенергії; для визначення оптимального розподілу між споживанням альтернативної та традиційної електроенергії.

Модель енергоспоживання може бути деталізована також з урахуванням показників, які впливають на енергоефективність будинку, такі як архітектура будинку та його розташування відносно сонця [11].

Список літератури

1. Большаков Б.Е. *Научные основы проектирования в системе "природа – общество – человек"* / Большаков Б.Е. – М. – СПб. – Дубна: Гуманистика, 2002. – 616 с.
2. Караваева Н.В., Левченко Л.О., Трохіменко Я.М. *Аналіз підходів до формування систем індикаторів сталого розвитку* // Зб. наук. праць: *Управління розвитком складних систем.* – К.: КНУБА, 2011. – Випуск 7. – С. 126-131.
3. Кузнецов О.Л. – М.: РАЕН, 2011. – 128 с.
4. Тістол Н.В. *Концептуальний підхід до оцінки якості житлового середовища* // Зб. наук. праць: *Управління розвитком складних систем.* – К.: КНУБА, 2013. – №13. – С. 130-135.
5. Сорокин П.А. *Человек, цивилизация, общество.* Сорокин П.А. – М., 1992. – 234 с.
6. Патракеєв І.М. *Онтологічне дослідження міського середовища* // Зб. наук. праць: *Управління розвитком складних систем.* – К.: КНУБА, 2015. – Частина 1, №23. – С. 159-168.
7. Янишин А.Л. *Учение В.И.Вернадского о биосфере и современность* / Янишин А.Л. – Сборник "На пути к устойчивому развитию". – М., 2007. – С. 39–61.
8. *European Commission Directorate – General for Environment. Режим доступу: <http://ec.europa.eu/environment/climat>*
9. 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.
10. 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.*
11. Santamouris M. *Cooling the cities. Rafrachir les Villes* / Santamouris M – Paris, Ecole des Mines de Paris– 2004.
12. Haurie A., Viguier L. *The coupling of climate and economic dynamics. Essays on integrated assessment* / A. Haurie, L. Viguier // Vienna, Springer – 2004.
13. Butera F. *UN Habitat – State of the World's Cities 2008-2009* / F. Butera – *Harmonious cities, Earthscan.* 2008.
14. *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.*

15. Kennedy, C. *The Changing Metabolism of Cities* / C. Kennedy, J. Cuddihy, J. Engel-Yan // *Journal of Industrial Ecology*, v. 11 n. 2 – 2007.
16. Caputo P. *Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation.* / P. Caputo, G. Costa, M. Manfren // *Methods and models*, London: Paperback. – 2010.
17. 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.
18. Newman P. *Cities and automobile dependence* / Newman P., Kenworthy J. // *An International Sourcebook*, Farnham: Gower – 1989.
19. Rogers R. *Cities for a small Planet* / Rogers R. – London, Paperback – 1998.
20. 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.
21. Acebillo J. *LNL – La Nuova Lugano, Visioni, sfide e territorio della città* / Acebillo J., Maggi R. // Lugano: CUP-IRE – 2008.
22. Allen S. *Points and Lines: Diagrams and Projects for the City.* / Allen S. – New York: Princeton Architectural press – 2009.
23. Bertalanffy L.V. *Teoria generale dei sistemi: fondamenti, sviluppo, applicazioni.* / Bertalanffy L.V. – Milano: Mondadori – 2004.
24. Graham S. *Splintering urbanism: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition* / Graham S., Marvin S. – London: Routledge – 2013.
25. Harvey D. *Megacities Lecture 4.* / Harvey D. – Possible urban Worlds. Amersfort: Twynstra Gudde – 2011.
26. Newman, P. *Sustainability and cities: extending the metabolism model* / Newman P. – In *Landscape and urban planning*, n. 4, – 2004, pp. 219–226

Стаття надійшла до редколегії 23.02.2016 р.

Рецензент: д-р техн. наук, доцент М.В. Омеляненко, ВСП "Інститут післядипломної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури", Київ.

Патракеєв Ігор Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінформатики і фотограмметрії, orcid.org/0000-0002-0448-8790
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

МЕТАБОЛИЗМ КАК МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Аннотация. Сегодня человечество переживает "урбанистическую эру", а потому особую остроту приобретают вопросы, связанные с эффективным управлением энергией потребления и энергией, которая затрачивается на утилизацию отходов в городах. В связи с этим особое внимание привлекает концепция "энергетического баланса" городской среды, которая была предложена рабочей группой Всемирного энергетического совета (World Energy Council): произведенная энергия должна покрывать потребляемую энергию. Метаболизм городской среды это "горячая" и малоисследованная градостроителями проблема. Такое состояние связано прежде всего с тем, что метаболизм есть не что иное, как сеть обмена материальными ресурсами и информацией. Это – реальная точка пересечения естественных, технологических, социальных, экономических процессов и их трансформации одного в другой. Такой метаболизм является важнейшим инструментом познания реальной механики движения ресурсов в такой сложной системе, как городская среда. Содержанием статьи является анализ существенных энергетических и вещественных потоков, которые характеризуют метаболизм городской среды. Рассмотренная в статье новая энергетическая парадигма поможет уменьшить нагрузку на состояние окружающей среды, ослабит экологические проблемы и уменьшить зависимость от ископаемого топлива. Методы и модели процессов метаболизма в городской среде позволят реализовать на практике концепцию постоянного развития городской среды, которая является развитием учения В.И. Вернадского о ноосфере.

Ключевые слова: метаболизм; потоки ресурсов; энергетический баланс; городская среда; энтропия; свободная энергия

Patrakeiev Igor Mikhailovich

PhD, associate Professor, Department of Geoinformatics and photogrammetry, orcid.org/0000-0002-0448-8790
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

METABOLISM IS A METHOD OF ESTIMATION OF THE URBAN ENVIRONMENT

Abstract. Today, mankind is experiencing "urbanization era", and therefore particularly acute issues associated with the effective management of energy consumption and energy consumed for waste disposal in urban areas. Special attention is attracted to the concept of "energy balance" of the urban environment, which was proposed by the working group of the world

energy Council (World Energy Council): the energy produced must cover energy consumption. The metabolism of the urban environment as "hot" and so rarely explored by urban planners. This condition is associated firstly with the fact that metabolism is not that other as a network of exchange of material resources and information. It is a real meeting point of natural, technological, social and economic processes and their transformation one into another. Such a metabolism is an essential tool for understanding the real mechanics of the movement of resources in such a complex system as the urban environment. The content of the article is the analysis of the essential energy and material flows that characterize the metabolism of the urban environment. Discussed in the article new energy paradigm to reduce the burden on the environment, reduce environmental problems and reduce dependence on fossil fuels. Methods and models of metabolism in urban implement the concept of development of the urban environment, which is the development of V. I. Vernadsky's doctrine about noosphere.

Keywords: *metabolism; resource flows; energy balance; urban environment; entropy; free energy*

References

1. Bolshakov, B.Y. (2002). *Scientific groundwork for design in the system "nature – society – man"*. Moscow, Russia: Gumanistika, 616.
2. Karavaeva, N., In., Levchenko, L. A., Trohimenko, J. M. (2011). *Analysis of approaches to formation of systems of indicators of sustainable development. Management of development of complex systems*. Kyiv, Ukraine: KNUBA, 7, 126-131.
3. Tistol, N.In. (2013). *Conceptual approach to evaluating the quality of the residential environment. Management of development of complex systems*. Kyiv, Ukraine: KNUBA, 13, 130-135.
4. Sorokin P.A. (1992). *Man, civilization, society*. Moscow, Russia: 234.
5. Patrakeyev, I.M. (2015). *An ontological study of an urban environment. Management of development of complex systems*. Kyiv, Ukraine: KNUBA, 1(23), 159-168.
6. Yanshin, A.L. (2007). *The doctrine of V. I. Vernadsky about biosphere and modernity*. Moscow, Russia: 39–61.
7. *European Commission Directorate – General for Environment*. Режим доступу: <http://ec.europa.eu/environment/climat>.
8. Bettencou, L., Lobo, J., & Helbing D. (2007). *Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104.
9. Butera F., Caputo P. (2008). *Planning eco-cities, the case of Huai Rou New Town. Proceedings of the 3rd International Solar Cities Congress*, Adelaide.
10. Santamouris, M. (2004). *Cooling the cities. Rafrachir les Villes*. Paris, Ecole des Mines de Paris.
11. Haurie A., Viguier L. (2004). *The coupling of climate and economic dynamics. Essays on integrated assessment*. Vienna, Springe.
12. Butera, F. (2008). *UN Habitat – State of the World's Cities 2008-2009. Harmonious cities*, Earthscan.
13. *European Green City Index, Assessing the environmental impact of Europe's major cities. Research project conducted by the Economist Intelligence Unit*. (2009). Munich: Siemens AG.
14. Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). *The Changing Metabolism of Cities*. *Journal of Industrial Ecology*, 1(2).
15. Caputo, P., Costa, G., & Manfren, M. (2010). *Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation. Methods and models*, London: Paperbac.
16. Lozano, S., & Gutierrez, E. (2008). *Non-parametric frontier approach to modelling the relationships among population, GDP, energy consumption and CO₂ emissions*. *Ecological Economics*, 66.
17. Newman, P., & Kenworthy, J. (1989). *Cities and automobile dependence. An International Sourcebook*, Farnham: Gower.
18. Rogers, R. (1998). *Cities for a small Planet / Rogers R.* London, Paperback.
19. Enkvist, P., Naucler, T., & Rosander, J. (2007). *A cost curve for greenhouse gas reduction. 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, 02.
20. Acebillo J., Maggi R. (2008). *LNL – La Nuova Lugano, Visioni, sfide e territorio della città*. Lugano: CUP-IRE.
21. Allen, S. (2008). *Points and Lines: Diagrams and Projects for the City*. New York: Princeton Architectural press.
22. Bertalanffy, L.V. (2004). *Teoria generate dei sistemi: fondamenti, sviluppo, applicazioni*. Milano: Mondadori.
23. Graham, S., & Marvin, S. (2013). *Splintering urbanism: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition*. London: Routledge.
24. Harvey, D. (2011). *Megacities Lecture 4. Possible urban Worlds*. Amersfort: Twynstra Gudde.
25. Newman, P. (2004). *Sustainability and cities: extending the metabolism model*. In *Landscape and urban planning*, 4, 219 – 226.

Посилання на публікацію

APA Patrakeyev, I., (2016). *Metabolism is a method of estimation of the urban environment. Management of Development of Complex Systems*, 25, 178-185.

ГОСТ Патракеєв, І.М. *Метаболізм як метод комплексної оцінки стану міського середовища [Текст] / І.М. Патракеєв // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 25. – С. 178-185.*