

DOI: 10.32347/2412-9933.2025.64.138-152

УДК 005.8:620.9:711.58

Тригуба Анатолій Миколайович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій,

<https://orcid.org/0000-0001-8014-5661>

Національний природничий університет України, Львів

Андрушків Олег Ярославович

Аспірант кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій,

<https://orcid.org/0009-0007-1672-7633>

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів

Тригуба Інна Леонтіївна

Кандидатка сільськогосподарських наук, доцентка, доцентка кафедри генетики, селекції та захисту рослин,

<https://orcid.org/0000-0002-5239-5951>

Національний природничий університет України, Львів

ЦИРКУЛЯЦІЙНО-ЦІННІСНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ МАСИВІВ

Анотація. Виконано аналіз стану реалізації проєктів у сфері енергетики, що дало змогу виявити невирішену науково-прикладну проблему — відсутність інтегрованої циркуляційно-ціннісної моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів. Обґрунтовано доцільність розроблення такої моделі, що поєднує концепцію циркулярної економіки та принципи ціннісно-орієнтованого управління. Метою дослідження є створення циркуляційно-ціннісної моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів, яка забезпечує формування багаторівневої системи створення, збереження та примноження цінності для мешканців громад і довкілля. Запропонована модель складається з п'яти взаємопов'язаних підсистем, що відображають динаміку управлінських процесів – від збору та переробки органічних відходів до генерації енергії та зворотного циклу ресурсів. Її принципова відмінність полягає у переході від лінійної логіки управління, орієнтованої на ефективність вхідних і вихідних ресурсів, до циркулярної парадигми, яка передбачає повторне використання матеріальних потоків, мінімізацію технологічних втрат і підвищення енергетичної автономності житлових масивів. На основі розробленої моделі створено систему підтримки прийняття рішень, яку апробовано на прикладі житлового масиву м. Броди Золочівського району Львівської області. Результати сценарного аналізу засвідчили, що основними чинниками зростання інтегрованої цінності проєктів енергозабезпечення житлових масивів є зниження технологічних втрат та підвищення ефективності моніторингу й управління енергетичним виходом. Отримані результати підтвердили адекватність моделі, її здатність відтворювати закономірності формування цінності в умовах динамічного проєктного середовища та доцільність використання як інструменту для обґрунтування управлінських рішень у сфері проєктного менеджменту та сталого розвитку громад. Перспективи подальших досліджень пов'язані з інтеграцією моделі у цифрову платформу проєктного менеджменту, що дозволить підвищити точність прогнозування, забезпечити адаптивність управлінських рішень та підтримати розвиток кліматично нейтральних енергетичних систем на території житлових масивів.

Ключові слова: управління проєктами, модель, циркуляційна парадигма, цінність, енергозабезпечення, громади, органічні відходи, сталий розвиток, інтелектуальні технології, система підтримки прийняття рішень

Постановка проблеми

В останні роки розширення житлових районів у великих містах України та світу різко збільшило попит на надійне їх енергозабезпечення. Традиційні централізовані енергосистеми, що працюють на викопному паливі, вже не в змозі ефективно

задовольняти ці потреби. Їх експлуатація вимагає високих витрат. Під час передачі енергії відбуваються значні втрати, а постійні коливання цін на паливо роблять такі системи нестабільними та економічно ризикованими [1 – 3]. Водночас вони сприяють погіршенню стану довкілля, що все більше впливає на умови життя та здоров'я міського населення.

Існуючі практики управління проектами в енергетичному секторі зазвичай оцінюють ефективність проєктів за фінансовими та технічними показниками. Водночас, екологічні та соціальні аспекти залишаються другорядними. В результаті багато проєктів виглядають ефективними на папері, але не створюють відчутної цінності для місцевих громад або довгострокових переваг для довкілля. Іншим недоліком наявного інструментарію для управління проектами є відсутність системної інтеграції інноваційних рішень у практику проєктного менеджменту. Часто впроваджуються як окремі ініціативи, а не як частини комплексної системи управління проектами енергозабезпечення житлових масивів [4 – 6]. Ця розбіжність між технічними інноваціями та їх використання під час управління проектами уповільнює практичну реалізацію проєктів і знижує їхню загальну ефективність.

На даний час післявоєнне відновлення України набуває ще більшого значення. Досягнення енергетичної незалежності та стійкості на місцевому рівні стає не тільки інфраструктурною метою, а й основою для відновлення безпечних, придатних для проживання та самодостатніх громад. Концепція циркулярної економіки, заснована на повторному використанні відходів та мінімізації їх накопичення, ще не була повністю інтегрована в проєкти розвитку енергетичних систем житлових масивів. Проте вона відкриває можливості для розвитку децентралізованих енергетичних систем, які використовують органічні відходи та інші місцеві ресурси як відновлювані джерела енергії. Для реалізації таких проєктів слід розробляти нові моделі управління цими проєктами, які можуть інтегрувати технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти в єдину систему.

Принципи управління проектами на основі цінності скеровані на створення довгострокових суспільних вигод, а не лише на економічної ефективності. Такий підхід сприяє соціальному добробуту, зменшення вразливості до зовнішніх ризиків та зміцнює стійкість громади [7 – 9]. Однак відсутність комплексних інструментів, що поєднують методології управління проектами з принципами циркулярної економіки, продовжує обмежувати модернізацію житлової інфраструктури відповідно до цілей сталого розвитку.

Тому науково-прикладна задача, яка розглядається в цьому дослідженні, полягає в розробці циркулярно-ціннісної моделі для управління проектами енергопостачання житлових масивів на основі органічних відходів. Ця модель забезпечує ефективне використання місцевих відновлюваних ресурсів, підвищує енергетичну автономію та забезпечує економічну, екологічну та соціальну цінність для населення громад.

Мета статті

Метою статті є обґрунтування циркулярної моделі управління проектами енергопостачання житлових районах на основі органічних відходів, яка враховує особливості проєктного середовища, базується на принципах циркуляційного використання наявних ресурсів та забезпечує примноження цінності для населення у рамках сталого розвитку.

Для досягнення мети ставляться такі завдання:

- розробити циркуляційно-ціннісну модель управління проектами енергозабезпечення житлових масивів;
- на підставі використання запропонованої моделі розробити СППР для управління проектами енергозабезпечення житлових масивів і перевірити на заданому прикладі.

Аналіз основних досліджень і публікацій

В останні роки спостерігається інтеграція принципів циркулярної економіки в енергетичні системи, що створило актуальний напрям досліджень. Хоча циркулярна економіка зосереджена на повторному використанні ресурсів, мінімізації відходів та процесах із замкнутим циклом, вона активно застосовується у промисловому виробництві. Однак, стосовно житлових масивів, то її впровадження залишається обмеженим. Вчені наголошують, що для управління проектами розвитку житлових масивів досі бракує комплексних підходів, які поєднують проєктний менеджмент, енергетичне планування, ефективність використання ресурсів та цілі сталого розвитку [10 – 12].

У декількох наукових працях їх автори намагалися заповнити цю прогалину. Для оцінки циркулярних стратегій у будівництві була розроблена гібридна модель QFD-TOPSIS, яка дозволяє порівнювати технології на основі їхнього внеску в циркулярність [13 – 5]. Структура ReSOLVE також була адаптована для житлових проєктів, допомагаючи оцінити практичну доцільність принципів циркулярної економіки в проєктуванні житлових масивів [16]. Однак такі моделі є обмеженими для використання проєктними менеджерами у проєктах енергозабезпечення житлових масивів через те, що вони залишаються теоретичними та не враховують соціальні чи управлінські аспекти, що мають вирішальне значення для таких проєктів на рівні громади.

На даний час залишається невирішеною науково-прикладна задача створення інтегрованої циркуляційно-ціннісної моделі управління проектами енергозабезпечення житлових масивів. Попри наявність численних наукових праць у сфері

енергетики, управління проектами та циркулярної економіки, більшість із них не забезпечує комплексного врахування взаємозв'язку технічних, соціальних та екологічних чинників мінливого проектного середовища [17 – 20]. Традиційні підходи розроблялися переважно для умов стабільної інфраструктури й орієнтуються на короткострокову економічну ефективність, що не дає можливості адекватно відобразити динамічні зміни проектного середовища житлових масивів.

Однією з основних прогалин є відсутність методів і моделей, здатних інтегрувати повторне використання ресурсів у систему управління проектами енергозабезпечення житлових масивів. Хоча концепція циркулярної економіки довела свою ефективність у промислових і виробничих сферах, у житлових масивах її застосування поки що залишається обмеженим і фрагментарним. Це знижує можливості для створення дійсно замкнених енергетичних циклів на рівні громад.

Не менш вагомою є потреба формалізації ціннісних параметрів у процесах управління. У сучасних роботах підкреслюється важливість створення довгострокової цінності для громади. Однак, бракує практичних механізмів оцінки таких показників у кількісній формі. У результаті соціальні та екологічні вигоди часто залишаються поза межами моделі, що призводить до прийняття рішень із вузькою економічною спрямованістю.

Додатковою невирішеною складовою є просторовий характеристик житлових масивів. Наявні підходи не враховують відмінності у структурі заселення житлових масивів, доступність транспортної мережі та локальні загрози. Інструменти геоінформаційних систем і

просторового аналізу лише починають інтегруватися у управлінські дослідження, проте їхній рівень застосування ще недостатній для формування комплексних сценаріїв розвитку енергетичних систем у житлових масивах.

Таким чином, на відміну від існуючих підходів запропонована циркуляційно-ціннісна модель дає можливість врахувати (рис. 1):

- використання локальних і вторинних ресурсів у рамках циркулярної економіки;
- оцінку довгострокової соціальної та екологічної цінності поряд із економічними показниками;
- просторово-орієнтоване моделювання із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій;
- адаптацію до динамічних змін проектного середовища та використання актуальних даних про його стан.

Виклад основного матеріалу

На основі запропонованого підходу нами розроблено циркуляційно-ціннісну модель управління проектами енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів (рис. 2). Нею враховано специфіку проектного середовища та особливості зазначених проектів. Принциповою відмінністю від інших моделей управління проектами є орієнтація не лише на ефективність реалізації проекту. Зокрема, вона враховує створення довгострокової цінності для населення громад та мінімізацію негативних впливів на довкілля від функціонування створеного продукту – систем енергозабезпечення житлових масивів.



Рисунок 1 – Управлінські завдання, які розв'язуються на основі запропонованої циркуляційно-ціннісної моделі управління проектами енергозабезпечення житлових масивів

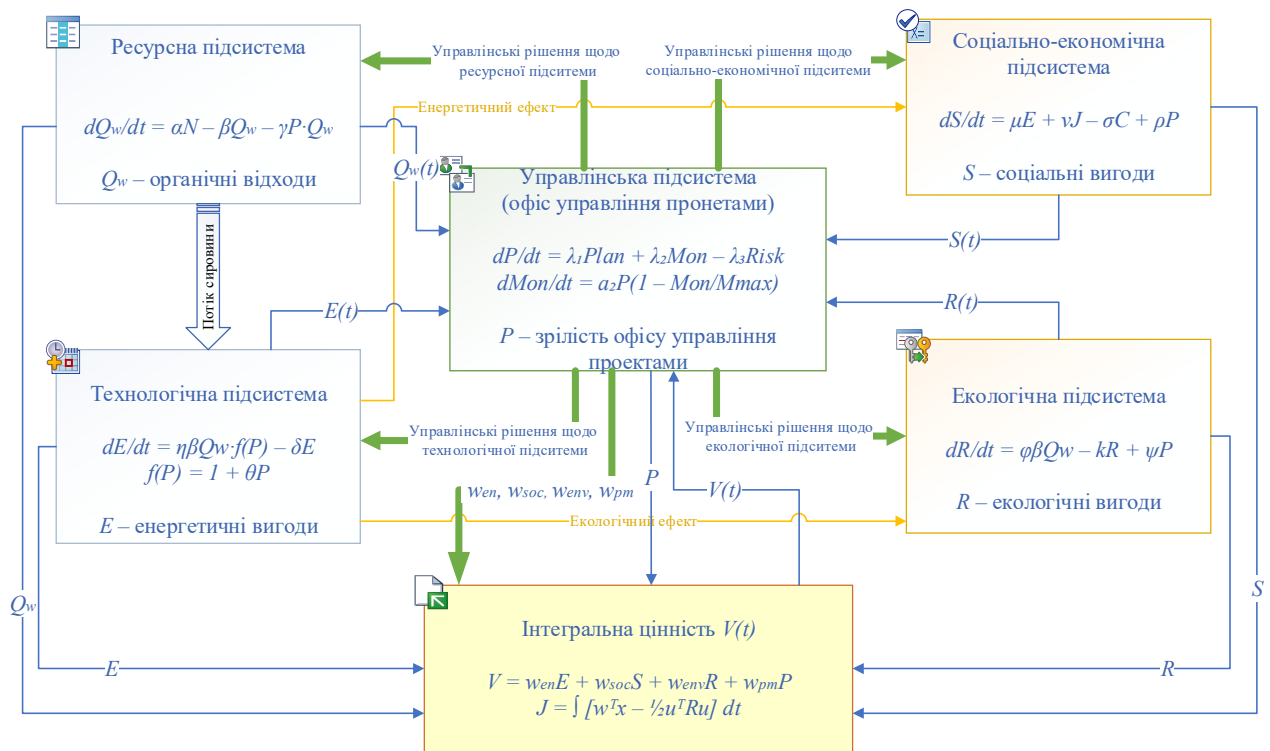


Рисунок 2 –Циркуляційно-ціннісна модель управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів

Модель відображає багаторівневу динамічну систему, що складається з п'яти взаємопов'язаних підсистем: 1) ресурсної; 2) технологічної; 3) соціально-економічної; 4) екологічної; 5) управлінської. Ресурсна підсистема забезпечує моделювання формування і використання органічних відходів як вхідного матеріалу для енергетичних процесів. Технологічна підсистема моделює перетворення цих відходів у енергію. Соціально-економічна підсистема відображає вплив системи енергозабезпечення на громаду через зниження витрат, створення робочих місць і підвищення рівня життя. Екологічна підсистема відображає зменшення обсягів накопичення відходів і скорочення викидів парникових газів. Управлінська підсистема моделює процеси планування, координації, моніторингу і формування ризиків та забезпечує отримання управлінських рішень щодо функціонування усіх інших підсистем із заданими сценаріями та конфігурацією.

Для математичного опису кожної із підсистем використано диференціальні рівняння. Ресурсна підсистема є базовою у циркуляційно-ціннісній моделі. Вона забезпечує відображення формування та накопичення органічних відходів, які використовуються у технологічних процесах для отримання енергії. Динаміка зміни обсягу утворення органічних відходів у часі визначається низкою чинників. До них належать кількість домогосподарств, середній рівень утворення відходів на одне домогосподарство, особливості організації збору й сортування, а також ефективність управління

проєктом, що безпосередньо впливає на конфігурацію підсистеми та відповідно якість логістики, а також рівень витрат.

Процес формування ресурсу для функціонування системи енергозабезпечення житлових масивів описується формулою:

$$\frac{dQ_w}{dt} = \alpha N(t) - \beta Q_w(t) - \gamma P(t) Q_w(t), \quad (1)$$

де $Q_w(t)$ – обсяг органічних відходів у заданий момент часу t ; $\alpha N(t)$ – інтенсивність надходження органічних відходів у систему енергозабезпечення; α – середній коефіцієнт утворення відходів одним домогосподарством; $N(t)$ – кількість домогосподарств у житловому масиві; β – коефіцієнт природного скорочення або втрат у процесі зберігання та часткової переробки; $\gamma P(t)$ – коефіцієнт, що описує вплив рівня зрілості управління проєктом $P(t)$ щодо рішень відносно збору й сортування відходів.

Перша складова формули (1) $\alpha N(t)$ відображає інтенсивність надходження органічних відходів у систему. Вона є пропорційною кількості населення та середнім обсягам утворення органічних відходів і задає основний потік ресурсів. Друга складова $\beta Q_w(t)$ описує природні втрати та спонтанну утилізацію, які неминуче відбуваються навіть за відсутності спеціальної переробки. Третя складова $\gamma P(t) Q_w(t)$ враховує вплив управління проєктом.

Зокрема, ефективність обґрунтованої конфігурації підсистеми та сценаріїв організації виконання робіт. Чим вищий рівень організації збору органічних відходів, тим швидше відходи спрямовуються на сортування та технологічну обробку, що зменшує їх накопичення на проміжних етапах.

Таким чином, ресурсна підсистема описує баланс між утворенням органічних відходів і зменшенням обсягу їх накопичення у системі. Вона тісно пов'язана з управлінською підсистемою, оскільки якість процесів планування і моніторингу визначає значення коефіцієнта γ . Водночас це впливає на швидкість доставки ресурсів у технологічну підсистему.

Для більш наочного представлення подаємо формулу (1) у дискретній формі для часових інтервалів Δt :

$$Q_w(t + \Delta t) = Q_w(t) + [\alpha N(t) - \beta Q_w(t) - \gamma P(t) Q_w(t)] \Delta t. \quad (2)$$

Це рівняння забезпечує оцінення обсягу органічних відходів у наступний момент часу залежно від зовнішніх чинників проєктного середовища і прийнятих управлінських рішень. Воно лежить в основі процесу прогнозування обсягу органічних відходів, що є важливим для ефективного управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів.

Технологічна підсистема у циркуляційно-ціннісній моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів відображає процес переробки органічних відходів у енергетичні ресурси. Вона описує процеси сортування, біохімічної переробки у біогаз, виробництва теплової та електричної енергії, а також накопичення проміжних і кінцевих енергетичних продуктів. Ця підсистема визначає, яка частина зібраних ресурсів трансформується у корисний вихід, що забезпечує цінність для населення громад. Окрім того, визначається яка частина втрачається у вигляді неефективних витрат чи відходів.

Опис обсягів виробництва енергії у часі описується формулою:

$$\frac{dE}{dt} = \eta \beta Q_w(t) f(P(t)) - \delta E(t), \quad (3)$$

де $E(t)$ – обсяг накопиченої енергії у системі в момент часу t ; η – коефіцієнт енергетичної конверсії, який відображає ефективність перетворення органічних відходів у енергію; $\beta Q_w(t)$ – обсяг органічних відходів, що реально надходить на переробку; $f(P(t))$ – функція, яка враховує вплив рівня управління проєктом на ефективність процесу перетворення органічних відходів у енергію;

$\delta E(t)$ – втрати енергії, зумовлені зберіганням, розподілом або технічними обмеженнями.

Перша складова формули (3) $\eta \beta Q_w(t) f(P(t))$ є основним генератором нового енергетичного потоку. Вона задає, що обсяг енергії залежить від обсягу наявних органічних відходів, які потрапляють у технологічну підсистему, а також залежить від її конфігурації (характеристик обладнання і якості управління). Функція $f(P(t)) = 1 + \theta P(t)$ відображає позитивний вплив зрілості управління. Від ефективності прийнятих управлінських рішень щодо конфігурації технологічної підсистеми значною мірою залежить цінність проєкту енергозабезпечення житлових масивів. Обґрунтування раціональної конфігурації технологічної підсистеми дає можливість зменшити втрати відходів та енергії, а також підвищити ефективність енерговиробництва. Друга складова $\delta E(t)$ формули (3) описує зменшення обсягів отриманої енергії через її розподіл, використання або природні втрати в інфраструктурі.

У дискретному вигляді динаміка технологічної підсистеми описується формулою:

$$E(t + \Delta t) = E(t) + [\eta \beta Q_w(t) f(P(t)) - \delta E(t)] \Delta t. \quad (4)$$

Подана формула (4) дозволяє покроково моделювати зміни запасів енергії залежно від обсягів надходження органічних відходів і ефективності прийнятих управлінських рішень. Вона є важливим для узгодження обсягів утворення органічних відходів та виробництва енергетичних ресурсів у житлових масивах.

Вцілому технологічна підсистема забезпечує перетворення ресурсних потоків у енергію, як кінцевий продукт, від якого залежить економічна і соціальна цінність проєкту енергозабезпечення житлових масивів на основі циркуляційно-ціннісного підходу. Водночас кількісне значення цінності залежить від конфігурації підсистеми та рівня управлінських рішень. Саме це зумовлює доцільність інтеграції її у циркуляційно-ціннісну модель управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів на основі використання органічних відходів.

Соціально-економічна підсистема у циркуляційно-ціннісній моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів відображає формування цінності для населення громади та її зміни. На відміну від інших підсистем, у цій враховується створення робочих місць, зменшення витрат домогосподарств на енергію, підвищення якості життя населення та отримання довгострокових соціальних вигод. Важливим є те, що

отримана цінність у цій підсистемі не завжди має вартісний вираз. Частина ефектів є нематеріальною, але суттєво впливає на сталість розвитку житлових масивів.

Кількісний опис зміни у часі соціально-економічних вигод здійснюється завдяки формулі:

$$\frac{dS}{dt} = \mu E(t) + \nu J(t) - \sigma C(t) + \rho P(t), \quad (5)$$

де dS – рівень соціально-економічних вигод у t -й момент часу; μ – коефіцієнт впливу обсягу виробленої енергії на вигоди для населення, що відображається зниженням витрат на традиційні енергоресурси; $E(t)$ – обсяг виробленої енергії; ν – коефіцієнт, який враховує вплив створених робочих місць $J(t)$; σ – показник витрат, що зменшують соціальну цінність; $C(t)$ – витрати громади чи окремих домогосподарств; $\rho P(t)$ – складова, яка враховує ефективність прийнятих управлінських рішень щодо соціально-економічних вигод (прозорість комунікації, залучення громадськості, механізми партнерства тощо).

Перша складова $\mu E(t)$ відображає те, що за зростання обсягів вироблена енергії з відновлюваних джерел, знижується залежність громади від традиційних ресурсів. Це призводить до зниження витрат на енергетичні ресурси та підвищення стійкості до відключень від централізованих енергосистем. Наступна складова $\nu J(t)$ враховує кількість створених робочих місць завдяки реалізації проєкту енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів. Це є досить важливою складовою для післявоєнного періоду, для якого соціальна інтеграція населення через зайнятість є визначальним чинником стабільності. Складова $\sigma C(t)$ відображає вплив фінансових витрат населення на цінність. Адже навіть інноваційні проєкти потребують інвестицій і тарифів, які у короткостроковій перспективі зменшують вигоди для населення. Складова $\rho P(t)$ показує те, що рівень управління зазначеними проєктами забезпечує зниження витрат та підвищення довіри громади. Саме це підвищує соціальну цінність.

Для прогнозування соціально-економічних вигод у дискретному вигляді використовується формула:

$$S(t + \Delta t) = S(t) + [\mu E(t) + \nu J(t) - \sigma C(t) + \rho P(t)] \Delta t. \quad (6)$$

Подана формула (6) дає можливість моделювати зміну у часі соціально-економічних вигод залежно від ефективності енерговиробництва та прийнятих управлінських рішень. Вона забезпечує оцінювання

впливу конфігурації проєкту на соціально-економічних вигоди для населення громади в коротко- та середньостроковій перспективі.

Таким чином, соціально-економічна підсистема у циркуляційно-ціннісній моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів не лише відображає зміни у витратах і доходах, а й відображає вплив управлінських рішень щодо реалізації зазначених проєктів на зростання довіри населення та відображення їх цінності. Формування соціально-економічних вигод значною мірою залежить від ефективності функціонування технологічної та екологічної підсистем. Системно вони формують інтегральну цінність проєкту енергозабезпечення житлових масивів, що робить її основним критерієм оцінення циркуляційно-ціннісного управління у багаторівневій системі.

Екологічна підсистема циркуляційно-ціннісної моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів визначає екологічну сталість і безпечність реалізації зазначених проєктів. Вона відображає динаміку зменшення обсягу накопичених органічних відходів, скорочення обсягів викидів парникових газів та рівень позитивного впливу на стан довкілля. Саме ця підсистема показує, наскільки проєкт енергозабезпечення житлових масивів відповідає принципам циркулярної економіки, в основі якої лежить замкнений цикл використання доступних ресурсів. Зокрема, від утворення органічних відходів до повторного використання без створення залишків на території житлових масивів, шкідливих для екосистеми.

Для опису динаміки створення екологічних вигод використовується формула:

$$\frac{dR}{dt} = \phi \beta Q_w(t) - k R(t) + \psi P(t). \quad (7)$$

де dR – рівень екологічних вигод у t -й момент часу; ϕ – коефіцієнт екологічної результативності, що характеризує здатність перероблених відходів зменшувати негативний вплив на довкілля; $\phi \beta Q_w(t)$ – обсяг відходів, що переробляється енергетичною системою; k – коефіцієнт зниження екологічних вигод, який відображає поступове зменшення позитивного впливу з часом (через технічне старіння обладнання або зниження якості обслуговування тощо); $\psi P(t)$ – додаткова складова, яка описує вплив управлінських рішень на підвищення екологічної ефективності системи.

Перша складова формули (7) $\phi \beta Q_w(t)$ визначає вигоди від переробки органічних відходів. Вона стосується зменшення обсягів накопичення органічних відходів, що потрапляє на полігони, і скорочення обсягів метанових викидів. Чим більший обсяг органічних відходів переробляється у

енергетичних установках, тим більші є екологічні вигоди. Друга складова $kR(t)$ відображає те, що будь-який екологічні вигоди не є постійними. Вони з часом зменшуються, якщо не здійснювати належний моніторинг, контроль і оновлення технологічних рішень. Третя складова $\psi P(t)$ відображає рівень прийняття управлінських рішень щодо екологічних вигод. Вона відображає ефективне управління проектами енергозабезпечення житлових масивів (врахування оцінки впливу на довкілля, контроль викидів, використання екологічних стандартів ISO 14001 тощо), що посилює екологічну стійкість і сприяє відновленню природного балансу.

Для прогнозування екологічних вигод у дискретному вигляді використовується формула:

$$R(t + \Delta t) = R(t) + [\phi \beta Q_w(t) - kR(t) + \psi P(t)] \Delta t. \quad (8)$$

Формула (8) дозволяє прогнозувати покрокові зміни екологічних вигод у часі, що є важливим для довгострокового планування проектів енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів. За допомогою цієї формули здійснюється моделювання різних сценаріїв прийняття управлінських рішень, щоб визначити раціональний з-поміж них, який забезпечує найвищий рівень екологічної нейтральності житлового масиву.

Екологічна підсистема тісно пов'язана з управлінською підсистемою. Це підтверджується тим, що точність управлінських рішень безпосередньо впливає на коефіцієнт ψ , який відображає адаптаційну здатність системи енергозабезпечення до екологічних викликів. Підвищення коефіцієнта ψ зазвичай відбувається через впровадження систем екологічного моніторингу, модернізацію обладнання, покращення систем збору даних та інтеграцію з геоінформаційними технологіями. При цьому, підсистема управління забезпечує динамічну оптимізацію, що дозволяє мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Отже, екологічна підсистема, яка описується формулами (7) та (8), виконує функцію стабілізатора цілої циркуляційно-ціннісної моделі управління проектами енергозабезпечення житлових масивів. Вона забезпечує зворотний зв'язок між ресурсною і технологічною підсистемами. Саме це запобігає надмірному накопиченню органічних відходів, забезпечує відновлення екосистем і формує довготривалу екологічну цінність для населення громади. Завдяки цій підсистемі у моделі розширено концепцію «енергія з відходів» до «енергія в балансі з природою».

Управлінська підсистема є центральною у циркуляційно-ціннісній моделі управління проектами енергозабезпечення житлових масивів. Саме вона забезпечує узгодження і взаємодію усіх підсистем моделі (ресурсну, технологічну, соціально-економічну та екологічну). Вона забезпечує вирішення управлінських процесів щодо планування, моніторингу, контролю, управління ризиками та координації дій щодо формування продукту проекту (системи енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів). Управлінська підсистема пов'язана із іншими інформаційними зв'язками, що формує ефективний офіс управління проектами, який забезпечує точність у прийнятті управлінських рішень.

Для опису динаміки та взаємозв'язку між основними управлінськими процесами використовується формула:

$$\frac{dP}{dt} = \lambda_1 Plan(t) + \lambda_2 Mon(t) - \lambda_3 Risk(t), \quad (9)$$

де dP – рівень ефективності управління проектом у заданий t -й момент часу; $Plan(t)$ – функція планування, що відображає процеси планування проектів; $Mon(t)$ – функція моніторингу, яка характеризує здатність системи відстежувати стан формування продукту проекту, аналізувати відхилення та обґрунтовувати коригуючі дії; $Risk(t)$ – функція управління ризиками, яка забезпечує виконання процесів реагування на ризики, що впливають на виконання проекту; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коефіцієнти, що визначають вагомість управлінських процесів на загальний рівень управління проектами.

Перша складова формули (9) $\lambda_1 Plan(t)$ відображає процеси планування проектів (деталізація етапів формування продукту проекту, балансування ресурсів, формування резервів як реакції на ризики тощо), які забезпечують зростання результативності управління проектами. Вона також забезпечує отримання стратегічних прогнозів і готовність системи до змін у проектному середовищі. Другий складова $\lambda_2 Mon(t)$ відображає процеси моніторингу, які забезпечують виявлення відхилень від плану та за потреби оперативного коригування дії щодо формування продукту проекту. Наявність якісного моніторингу створює зворотний зв'язок із технологічною, соціальною та екологічною підсистемами, що забезпечує адаптивність управління. Третя складова $\lambda_3 Risk(t)$ відображає процеси управління. Наявність ризиків призводить до зниження ефективності управління проектами через вплив невизначеностей (відсутність інформації, технічні несправності, соціальна нестабільність, коливання вартості ресурсів тощо).

Для розширеного опису впливу процесів управління виконаємо опис окремих функцій. Зокрема, під час виконання процесів планування проектів пропонується здійснювати моделювання формування продукту зі зміною темпів виконання дій:

$$\frac{dPlan}{dt} = a_1 P(t) - b_1 Dev(t), \quad (10)$$

де a_1 – коефіцієнт позитивного ефекту від управлінської зрілості проектного офісу; $P(t)$ – рівень зрілості управління проектом у t -й момент часу; $b_1 Dev(t)$ – зниження ефективності управління проектами через відхилення від графіка або проектні затримки.

Аналогічно ефективність процесів моніторингу проектів представляємо як функцію, що зростає із накопиченням даних, але спадає при перевантаженні інформацією (рис. 3):

$$\frac{dMon}{dt} = a_2 P(t) \left(1 - \frac{Mon(t)}{M_{max}} \right), \quad (11)$$

де $\frac{dMon}{dt}$ – швидкість зміни рівня моніторингу проекту у часі; $Mon(t)$ – поточний рівень ефективності моніторингу проекту у t -й момент часу; a_2 – коефіцієнт впливу управлінської зрілості на підвищення точності процесів моніторингу; M_{max} – максимально можливий рівень ефективності моніторингу проекту у t -й момент часу; $1 - \frac{Mon(t)}{M_{max}}$ – коефіцієнт насичення розвитку проектного офісу.

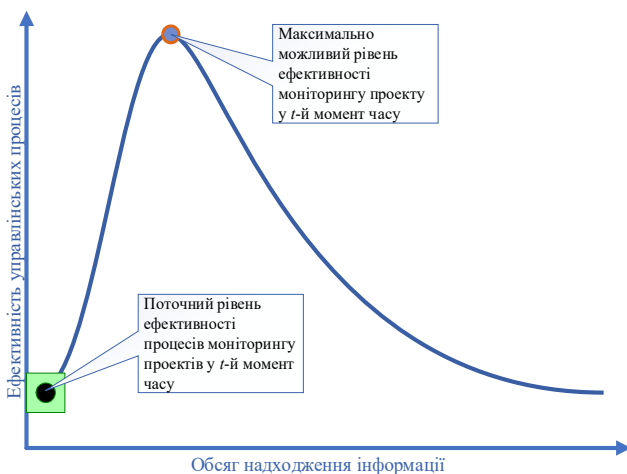


Рисунок 3 – Графічна інтерпретація залежності ефективності управлінських процесів від обсягів надходження інформації про стан проектного середовища

Швидкість зміни рівня моніторингу проектів у часі $\frac{dMon}{dt}$ є показником того, наскільки швидко покращуються процеси відстеження стану формування продукту проекту, аналізу і звітності у процесі реалізації проекту. Позитивне значення вказує на вдосконалення механізмів контролю, тоді як значення, близьке до нуля, вказує на стабілізацію процесу.

Поточний рівень ефективності моніторингу проекту $Mon(t)$ відображає те, наскільки проектний офіс здатний відстежувати стан виконання дій щодо формування продукту, своєчасно виявляти відхилення, збирати дані та передавати їх до офісу управління проектами. На початкових етапах $Mon(t)$ має низьке значення, але поступово зростає, коли офіс управління проектами стає зрілим.

Коефіцієнт a_2 впливу управлінської зрілості показує, наскільки ефективність управління (зрілість проектного офісу $P(t)$) сприяє покращенню процесів моніторингу. Якщо a_2 має велике значення, навіть невелике підвищення рівня управління проектами призводить до суттєвого зростання точності моніторингу.

Рівень зрілості $P(t)$ управління проектом у t -й момент часу характеризує ефективність виконання управлінських процесів (планування, комунікації, контролю та реагування на ризики тощо). При цьому $P(t)$ відображає те, що чим більшу професійну зрілість має офіс управління проектами, тим ефективніше реалізуються процеси моніторингу.

Максимально можливий рівень ефективності моніторингу проекту M_{max} у t -й момент часу відображає технічну або організаційну межу вдосконалення процесів моніторингу. Наприклад, використання повної автоматизації процесів збору інформації про стан підсистем, використання аналітики в реальному часі, інтеграцію з геоінформаційними системами та інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень.

Коефіцієнт насичення $1 - \frac{Mon(t)}{M_{max}}$ розвитку проектного офісу відображає те, що на ранніх етапах, коли $Mon(t)$ має невелике значення, приріст є швидким. Водночас, коли $Mon(t)$ досягає близьких до максимальних значень, швидкість покращення управлінських процесів знижується. Це відображає реальний процес управління проектами, де вдосконалення системи контролю стає все складнішим із наближенням до оптимального рівня.

Опис процесу управління ризиками здійснюється за формулою, яка відображає зростання

ризиків за низького рівня контролю реалізації проєктів, а також зменшення за підвищення ефективності офісу управління проєктами:

$$\frac{dRisk}{dt} = \xi - \zeta P(t) - \omega Mon(t). \quad (12)$$

де ξ – показник швидкості появи нових ризиків під час реалізації проєктів; ζ – показник впливу ефективності управління проєктами на зниження ризиків; ω – показник зменшення ризиків завдяки виконанню процесів моніторингу реалізації проєктів.

У дискретному вигляді опис управлінської підсистеми можна представити формулою:

$$P(t + \Delta t) = P(t) + [\lambda_1 Plan(t) + \lambda_2 Mon(t) - \lambda_3 Risk(t)]\Delta t. \quad (13)$$

Формула (13) показує, як накопичені знання про управлінські дії впродовж реалізації проєкту, формують поступовий розвиток зрілості офісу управління проєктами. Такий підхід дозволяє здійснювати не лише оцінювання поточного стану офісу управління проєктами, а й прогнозування його динаміки в залежності від обраної стратегії розвитку.

Управлінська підсистема має ієрархічну структуру, у центрі якої розташовується офіс управління проєктами. Він виконує роль координаційного центру, що узгоджує процеси планування, фінансування, контроль, ризик-менеджменту і комунікацію між усіма підсистемами. Проектний офіс виступає генератором управлінських рішень, які передаються до інших підсистем. Їх реакція на управлінські впливи дозволяє формувати замкнене коло – від прийняття управлінського рішення до оцінки результату (виконання дій та формування продукту проєкту).

Таким чином, управлінська підсистема виконує функцію стабілізації та узгодження діяльності у всіх підсистемах циркуляційно-ціннісної моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів. Вона не лише впливає на технологічні, соціальні чи екологічні підсистеми, а й забезпечує інтеграцію їх між собою, створюючи адаптивну систему управління проєктами, здатну реагувати на зміни у проєктному середовищі. У поєднанні з інструментами прогнозного аналізу, системної динаміки та геоінформаційного моделювання управлінська підсистема на основі запропонованої циркуляційно-ціннісної моделі має повноцінний інструмент стратегічного управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів на основі використання органічних відходів.

Інтегральна цінність проєкту енергозабезпечення житлових масивів, яка описується рівнянням (14) у запропонованій циркуляційно-ціннісній моделі управління зазначеним проєктом є

узагальнюючим показником. В узагальненому вигляді інтегральний показник цінності від реалізації проєктів енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів записується:

$$V_{int} = w_{en} \cdot E + w_{ec} \cdot E_c + w_{soc} \cdot S + w_{env} \cdot R, \quad (14)$$

де E – обсяг виробництва енергії; E_c – економічні вигоди; S – соціальні вигоди; R – екологічні вигоди; $w_{en}, w_{ec}, w_{soc}, w_{env}$ – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритети зацікавлених сторін.

Зокрема, V_{int} узагальнює результати функціонування всіх підсистем – ресурсної, технологічної, соціально-економічної, екологічної та управлінської. Його представляємо як динамічну характеристику стійкості та ефективності проєкту енергозабезпечення житлових масивів, що враховує не лише кількісні, а й якісні складові цінності. На відміну від традиційних моделей, де оцінка результативності зводиться до розрахунку фінансових показників, у нашій моделі введено поняття багатовимірної цінності, що формується у часі через оцінення потоків ресурсів, енергії, соціальних вигод та точності управлінських рішень.

Інтегральна цінність проєкту енергозабезпечення житлових масивів визначається як функція від змінних стану системи та вагових коефіцієнтів, які відображають пріоритети під час прийняття управлінських рішень. Зазначена цінність описується формулою:

$$V(t) = w_{en} E(t) + w_{soc} S(t) + w_{env} R(t) + w_{pm} P(t), \quad (15)$$

де $V(t)$ – інтегральна цінність проєкту енергозабезпечення житлових масивів у t -й момент часу; $E(t)$ – енергетичні вигоди; $S(t)$ – соціально-економічні вигоди; $R(t)$ – екологічні вигоди; $P(t)$ – показник управлінської зрілості офісу управління проєктами; $w_{en}, w_{soc}, w_{env}, w_{pm}$ – відповідно вагові коефіцієнти, що характеризують відносну значущість кожної компоненти цінності.

Вагові коефіцієнти змінюються у часі, відображаючи адаптацію проєктних рішень до стратегічних пріоритетів громади або динамічного проєктного середовища.

Оскільки всі зазначені підсистеми взаємопов'язані між собою, інтегральна цінність проєктів енергозабезпечення житлових масивів описується не лише як сума, а як функціонал динамічного стану проєкту:

$$V(t) = \int_{t_0}^t \left[w^T x(\tau) - \frac{1}{2} x^T(\tau) Q x(\tau) \right] d\tau, \quad (16)$$

де $x(t)$ – вектор стану проекту; w – вектор вагових коефіцієнтів; Q – матриця штрафних параметрів, що враховує небажані відхилення або неефективності.

Запропоноване представлення (16) інтегральної цінності проектів енергозабезпечення житлових масивів дозволяє вирішувати задачу оптимального управління, де інтегральна цінність проекту є функцією, яку потрібно максимізувати за обмежених ресурсів, із врахуванням ризиків та конфігурації підсистем.

Узагальнено вся модель управління проектами енергозабезпечення житлових масивів у матричному вигляді описується рівнянням стану:

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + G \cdot d(t), \quad (17)$$

де $x(t)$ – вектор стану проекту, що включає основні змінні, представлені у рівнянні (18); $u(t)$ – вектор керуючих дій, який відображає управлінські впливи; $d(t)$ – вектор збурень, що описує чинники проектного середовища, зокрема коливання ресурсної бази, зміни споживання енергії чи соціально-економічні збурення; A – матриця внутрішніх зв'язків між підсистемами; B – матриця впливу офісу управління проектами; G – матриця чутливості проекту до зовнішнього проектного середовища.

Вектор стану проекту описується наступним чином:

$$x(t) = [Q_w(t), E(t), S(t), R(t), P(t)]^T, \quad (18)$$

де $x(t)$ – вектор стану проекту; $Q_w(t)$ – обсяг органічних відходів; $E(t)$ – обсяг виробленої енергії; $S(t)$ – соціальні вигоди; $R(t)$ – екологічні вигоди; $P(t)$ – рівень зрілості проектного офісу.

Вектор стану проекту $x(t)$ вміщує змінні, які є функцією часу та відображають конкретну підсистему циркуляційно-ціннісної моделі управління проектами енергозабезпечення житлових масивів. Зміна цих складових у часі показує динаміку реалізації проекту.

Вектор управлінських дій $u(t)$ формується на основі управлінських процесів, які належать до планування $Plan(t)$, моніторингу $Mon(t)$ і ризик-менеджменту $Risk(t)$:

$$u(t) = \begin{bmatrix} Plan(t) \\ Mon(t) \\ Risk(t) \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Усі змінні (19) є керованими, оскільки вони безпосередньо залежать від управлінських рішень, які обґрунтовуються у офісі управління проектами. Їх комбінація визначає траєкторію реалізації проекту у заданому проектному середовищі.

У загальному вигляді розв'язання задачі оптимального управління проектами енергозабезпечення житлових масивів записується як знаходження множини управлінських дій $u^*(t)$, яка максимізує інтегральну функцію цінності:

$$\max_{u(t)} J = \int_{t_0}^{t_f} \left[w^T \cdot x(t) - \frac{1}{2} u^T(t) \cdot R \cdot u(t) \right] dt, \quad (20)$$

де R – матриця вагових коефіцієнтів управління, яка визначає відносну цінність або витрати на реалізацію управлінських дій.

Таке представлення оптимального управління проектами енергозабезпечення житлових масивів дозволяє застосовувати принцип Белмана або рівняння Гамільтона-Якобі-Белмана для розрахунку оптимальної політики управління, що забезпечує максимальну інтегральну цінність. Від реалізації зазначених проектів.

З практичної точки зору така постановка задачі означає, що управлінські рішення щодо окремих процесів (планування, моніторинг, контроль ризиків тощо) узгоджуються не лише з конфігурацією продукту та проекту, а й з очікуваними соціальними й екологічними вигодами для зацікавлених сторін. Це дозволяє управляти проектом як єдиною системою, у якій кожна дія викликає реакцію в її підсистемах. Водночас мета такого управління проектами полягає у досягненні такого продукту проекту, який забезпечить стійку рівновагу між економічною доцільністю, соціальною справедливістю та екологічною стабільністю.

Таким чином, матричне представлення циркуляційно-ціннісної моделі дає можливість описати процес управління проектами енергозабезпечення житлових масивів у формі системи динамічних рівнянь із зворотними зв'язками. Це не лише математичний опис, а й концептуальна основа, яка дозволяє трансформувати процеси управління проектами енергозабезпечення житлових масивів із лінійного представлення у самоорганізовану динамічну систему, яка здатна адаптуватися до змін проектного середовища, підтримувати баланс між підсистемами і забезпечувати зростання інтегральної цінності в довгостроковій перспективі.

На підставі використання запропонованої циркуляційно-ціннісної моделі управління проектами енергозабезпечення житлових масивів створено СППР на мові Python 3.12.

На прикладі житлового масиву використано СППР. Зокрема, розглянуто житловий масив

м. Броди Бродівської міської територіальної громади Золочівського району Львівської області. Ініціюється реалізація проєкту енергозабезпечення цієї громади із використанням органічних відходів та централізованим їх вивозом. Початкові надходження органічних відходів помірні ($\alpha=1.15$ т/добу), базова переробка збалансована ($\beta=0.42$) і обмежена пропускнуою здатністю майданчика $C_{cap}=9.0$ т/добу. Зрілість офісу управління проєктами є середньою ($P_0=0.5$) з виконанням процесів моніторингу ($Mon_0=0.2$) та лагом їх впливу ($\tau_p=0.09$). Цінність для громади формується завдяки отриманій енергії, соціальними вигодами, покращенням екології та здобуттям управлінських навиків відповідно із вагами 0.35, 0.25, 0.25 та 0.15. Тривалість планування здійснюється на період 180 днів.

Отримані показники за базового сценарію реалізації проєкту енергозабезпечення житлового масиву представлено у табл. 1.

Встановлено, що за базовим сценарієм впродовж 180 днів запас відходів утримується в коридорі експлуатаційної стійкості і змінюється від 10,00 до 10,40 т/добу. Це свідчить про вихід на стале надходження ресурсів без різких спадів. Енергетичний вихід досягає 27 умовних одиниць, соціальна та екологічна складові відповідно зростають до 8,59 і 10,38, управлінська зрілість до 6,38, а інтегральна цінність до 15,15. Спостерігається відносне зростання інтегральної цінності проєкту енергозабезпечення житлових масивів V і порівняно з початковою зростає на 408,7%. Це пояснюється низьким початковим її значенням і активізацією управлінських процесів на початку реалізації проєкту.

Таблиця 1 – Узагальнені значення показників за базового сценарію реалізації проєкту енергозабезпечення житлового масиву ($T=180$ днів)

Показник	Значення
Обсяг надходження органічних відходів Q_w (початок – завершення), т/добу	10.00 – 10.40
$E(t)$	27
$S(t)$	8.59
$R(t)$	10.38
$P(t)$	6.38
$V(t)$	15.15
ΔV (відносно початку)	408.7%

На отриманому графіку (рис. 4) зміни соціальних S та екологічних R вигод впродовж

періоду планування спостерігається монотонне їх зростання. Причому, крива екологічних вигод R швидше зростає на ранніх етапах завдяки скороченню накопичення органічних відходів та ефекту управління з лагом. Ефект управління з лагом характеризується станом, коли підвищення зрілості P офісу управління проєктами не дає миттєвого результату, а поступово впливає на значення E , S , R , Q_w з часовою затримкою. У моделі це реалізовано згладженим P з коефіцієнтом τ_p . Крива соціальних вигод S зростає майже лінійно, відображаючи інерційність соціальних програм.

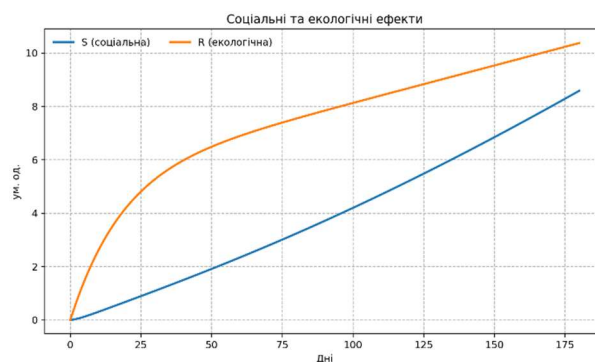


Рисунок 4 – Тенденції зміни соціальних S та екологічних R вигод впродовж періоду планування проєкту енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів

На рис. 5 представлено зміни зрілості P офісу управління проєктами та інтегрованої цінності проєкту V .

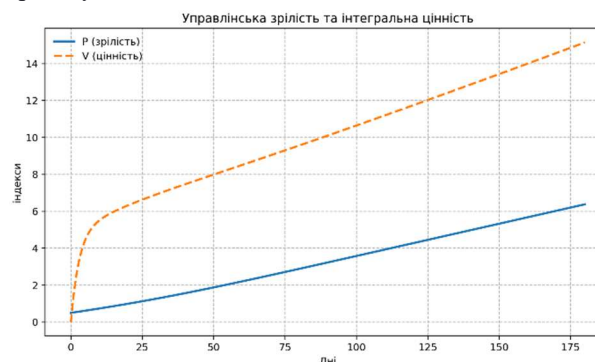


Рисунок 5 – Тенденції зміни зрілості P офісу управління проєктами та інтегрованої цінності проєкту V впродовж періоду планування проєкту енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів

Встановлено, що P підвищується майже рівномірно, а інтегральна цінність V зростає швидше на початку та з часом переходить у більш плавний режим, що відповідає динаміці E , S та R .

На підставі отриманих результатів щодо базового сценарію реалізації проєкту енергозабезпечення житлового масиву виконано зміну параметрів для оцінки чутливості інтегральної

цінності зазначеного проекту. Результати визначення змін цінності $V(t)$ відносно базового її значення $V(t) = 15.15$ подано у табл. 2.

Встановлено, що зростання обсягу надходження органічних відходів α на 10% і управлінського впливу на переробку γ на 10% не змінюють значення інтегрованої цінності проекту $V(t)$. Це пов'язано із тим, що систему обмежує добова пропускна здатність (C_{cap}) та діє насичення управлінського ефекту.

Насичення управлінського ефекту це стан. Коли зі зростанням зрілості офісу управління проектами додаткове підсилення дає дедалі менший приріст ефективності й практично зупиняється біля граничного рівня. Натомість зниження технологічних втрат ($\delta = -10\%$) дає найвищий приріст інтегрованої цінності проекту $V(t)$, а посилення моніторингу ($\lambda_2 = +20\%$) і впливу процесів управління на енергетичний вихід ($\theta = +10\%$) забезпечують стабільне, хоч і менше, зростання інтегрованої цінності проекту $V(t)$.

На підставі виконаних досліджень встановлено, що запропонована циркуляційно-ціннісна модель управління проектами енергозабезпечення житлових масивів є доцільною для проектних менеджерів у трьох аспектах.

По-перше, вона допомагає виявити вузькі місця у реалізації проектів енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів. Вузьке місце (bottleneck) – це лімітуюча ланка системи, яка визначає її сумарну продуктивність. У нашому проекті енергозабезпечення житлових масивів таким обмеженням є добова пропускна здатність переробки C_{cap} . Коли енергетична установка працює на повну потужність, то додаткове надходження органічних

відходів α , або ж посилення управління та логістики ($\gamma, \lambda_2, \theta$) уже не підвищують інтегровану цінність проекту $V(t)$. При цьому слід забезпечити зменшення втрат δ або ж збільшити саму пропускна здатність переробки C_{cap} завдяки зміні конфігурації технологічної підсистеми. По-друге, лагована та насичувана дія управлінських рішень убезпечує від хибних висновків, коли ефект від заходів очікують миттєво. При цьому модель забезпечує визначення, як саме ефекти проявляються протягом тижнів. По-третє, запровадження операційного буфера для Q_w дозволяє планувати виконання дій у проекті в сталому діапазоні без ризику чи різких коливань, що досить важливо для логістики та контрактів на вивіз/переробку органічних відходів.

Узагальнюючи, слід зазначити, що запропонована циркуляційно-ціннісна модель управління проектами енергозабезпечення житлових масивів адекватно відтворює дії та формування цінності у зазначених проектах за заданих обмежень і надає проектним менеджерам прозорий інструмент для визначення пріоритетних управлінських рішень. Встановлено, що найефективнішими управлінськими діями та підвищення інтегрованої цінності V проектів енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів є зниження технологічних втрат і підсилення процесів моніторингу разом з підвищенням ефективності перетворення енергії. Водночас, зростання надходження органічних відходів без усунення вузького місця у пропускній спроможності енергетичних установок не забезпечує створення доданої цінності. Це дає змогу встановити, що вкладати інвестиції слід саме в головні «вузькі місця» проектів, які найбільше впливають на зростання інтегрованої цінності V проектів енергозабезпечення житлових масивів у середньостроковій перспективі.

Таблиця 2 – Результати визначення змін цінності $V(t)$ відносно базового її значення $V(t) = 15.15$

Назва параметра	Відсоток зміни параметра, %	$V(t)$	Абсолютне значення ΔV	Відносне значення ΔV , %
Вплив моніторингу на управлінську зрілість ($Mon \rightarrow P$, зворотний зв'язок), λ_2	+20%	15.72	+0.57	+3.76%
Вплив процесів управління на енергетичний вихід ($P \rightarrow E$), θ	+10%	15.71	+0.56	+3.70%
Технологічні втрати / затухання енергії (у рівнянні E), δ	-10%	16.33	+1.18	+7.79%
Надходження органічних відходів (надходження Q_w), α	+10%	15.15	+0.00	0.00%
Управлінський вплив на переробку ($P \cdot Q_w$; у моделі через γ_{max}), γ	+10%	15.15	+0.00	0.00%

Висновки

На підставі виконаного аналізу стану реалізації проєктів у сфері енергетики встановлено, що залишається невирішеною науково-прикладна задача створення інтегрованої циркуляційно-ціннісної моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів. Запропонована нами модель циркуляційно-ціннісна модель управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів на основі органічних відходів формує концептуальну та методологічну основу для проєктних менеджерів. Нею враховано специфіку проєктного середовища та особливості зазначених проєктів. Принциповою відмінністю від інших моделей управління проєктами є орієнтація не лише на ефективність реалізації проєкту. Модель передбачає виділення 5 підсистем, відображають багаторівневу динамічну управлінську систему, вона забезпечує створення цінності для населення громад та мінімізацію негативних впливів на довкілля від створеного продукту – систем енергозабезпечення житлових масивів. Основою запропонованої моделі є принципи переходу від лінійної логіки управління, зосередженої на ефективності вхідних та вихідних ресурсів, до парадигми циркулярного управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів, які забезпечують примноження цінності завдяки повторному використанню ресурсів, отримання відновлюваної енергії та соціальних вигод для мешканців житлових масивів.

На основі запропонованої циркуляційно-ціннісної моделі управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів розроблено систему підтримки рішень, яку перевірено на

прикладі житлового масиву м. Броди Бродівської міської територіальної громади Золочівського району Львівської області. Ініціюється реалізація проєкту енергозабезпечення цієї громади із використанням органічних відходів та централізованим їх вивозом.

На підставі отриманих результатів щодо базового сценарію реалізації проєкту енергозабезпечення житлового масиву виконано дослідження із зміною параметрів моделі для оцінки інтегральної цінності зазначеного проєкту. На підставі визначення змін цінності $V(t)$ відносно базового її значення $V(t) = 15.15$ встановлено, що зростання обсягу надходження органічних відходів α на 10% і управлінського впливу на переробку γ на 10% не змінюють значення інтегрованої цінності проєкту $V(t)$. Це пов'язано із тим, що систему обмежує добова пропускна здатність (C_{cap}) та діє насичення управлінського ефекту. Натомість зниження технологічних втрат ($\delta = -10\%$) дає найвищий приріст інтегрованої цінності проєкту $V(t)$, а посилення процесів моніторингу ($\lambda_2 = +20\%$) і впливу процесів управління на енергетичний вихід ($\theta = +10\%$) забезпечують стабільне, хоч і менше, зростання інтегрованої цінності проєкту. Отже, запропонована циркуляційно-ціннісна модель управління проєктами енергозабезпечення житлових масивів адекватно відтворює дії та формування цінності у зазначених проєктах за заданих обмежень і надає проєктним менеджерам прозорий інструмент для визначення пріоритетних управлінських рішень.

Список літератури

1. Tryhuba I. et al. European Green Deal: Substantiation of the rational configuration of the bioenergy production system from organic waste. *Energies*. 2024. Vol. 17 (17). 4513. <https://doi.org/10.3390/en17174513>.
2. Tryhuba A. et al. Optimizing energy systems of livestock farms with computational intelligence for achieving energy autonomy. *Scientific Reports*. 2025. 15. 10777. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92836-6>.
3. Kucher O. et al. Application of marketing tools in the bioeconomic sector. *Sustainability*. 2025. Vol. 17 (8). 3590. <https://doi.org/10.3390/su17083590>.
4. Бушуєв С. Д., Дорош М. С., Литвиненко Н. В. Інноваційне мислення при формуванні нових методологій управління проєктами. *Управління проєктами та розвиток виробництва*. 2016. 2 (26). URL: <https://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-26/7.pdf> (дата звернення: 12.10.2025).
5. Зачко О. Б. Теоретичні підходи до управління безпекою в проєктах розвитку складних систем. *Управління розвитком складних систем*. 2015. 22. С. 48–53. URL: <https://sci.lidubgd.edu.ua/handle/123456789/1064> (дата звернення: 12.10.2025).
6. Tryhuba A. et al. Risk assessment of investments in projects of production of raw materials for bioethanol. *Processes*. 2021. Vol. 9 (1). 12. <https://doi.org/10.3390/pr9010012>.
7. Tryhuba A. et al. Model of assessment of the risk of investing in the projects of production of biofuel raw materials. *2020 International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2020. Vol. 2. Pp. 151–154. <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322024>.
8. Tryhuba A. et al. Coordination of configurations of technologically integrated “European Green Deal” projects. *Advances in Renewable Energy Systems*. MDPI, 2024. Pp. 327–339. <https://doi.org/10.3390/pr10091768>.
9. Ahmed S., Ali A., D'Angola A. A review of renewable energy communities: Concepts, scope, progress, challenges, and recommendations. *Sustainability*. 2024. Vol. 16 (5). 1749. <https://doi.org/10.3390/su16051749>.

10. Shaier A. A. et al. Multi-objective optimization and algorithmic evaluation for hybrid renewable energy systems. *Scientific Reports*. 2025. 15. Article e-pub ahead of print. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84227-0>.
11. Tryhuba A. et al. Models for sustainable management of livestock waste based on neural network architectures. *Scientific Reports*. 2025. 15. 28082. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40750980/>.
12. Кобилкін Д. та ін. Управління критичними параметрами логістичних та інфраструктурних проєктів засобами комп'ютерного експерименту (на прикладі сектору безпеки та оборони в умовах війни). *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2025. 3 (33). С. 33–44. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.3.033>.
13. Bushuyev S. D. et al. Successful management of public health projects driven by AI in a BANI environment. *Computation*. 2025. Vol. 13 (7). 160. <https://doi.org/10.3390/computation13070160>.
14. Бушуєв С. Д., Бушуєва Н. С., Языков Д. В. Менеджмент проєктів розвитку аграрного сектору на принципах циркулярної економіки. *Управління розвитком складних систем*. 2022. 52. С. 21–27. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.21-27>.
15. Alotaibi S. et al. A Holistic Framework to Accelerate Implementation of Circular Economy in Mega-Scale Construction Projects. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14 (23). 10958. <https://doi.org/10.3390/app142310958>.
16. Serra C. E. M., Kunc M. Benefits realisation management and its influence on project success and on the execution of business strategies. *International Journal of Project Management*. 2015. Vol. 33 (1). 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.03.011>.
17. Martinsuo M., Killen C. P. Value management in project portfolios: Identifying and assessing strategic value. *Project Management Journal*. 2014. Vol. 45 (5). 56–70. <https://doi.org/10.1002/pmj.21452>.
18. Jayakodi S. et al. Circular economy assessment using project-level and organisation-level indicators. *Journal of Building Engineering*. 2024. 110084. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110084>.
19. Kuitert L. et al. Value integration in multi-functional urban projects. *Building Research & Information*. 2024. Vol. 52 (7). 1303–1321. <https://doi.org/10.1080/01446193.2023.2264969>.
20. Bos-de Vos M., van Bueren E., Boon W. Projecting to promote sustainability transitions through joint value creation. *International Journal of Project Management*. 2025. Vol. 43 (6). 101001. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2025.101001>.

Стаття надійшла до редакції 12.11.2025

Tryhuba Anatoliy

DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Information Technologies,

<https://orcid.org/0000-0001-8014-5661>

National University of Natural Sciences of Ukraine, Lviv

Andrushkiv Oleg

Postgraduate student of the Department of Information Technologies and Electronic Communications Systems,

<https://orcid.org/0009-0007-1672-7633>

Lviv State University of Life Safety, Lviv

Tryhuba Inna

PhD (Agriculture), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Genetics, Plant Breeding and Protection,

<https://orcid.org/0000-0002-5239-5951>

National University of Natural Sciences of Ukraine, Lviv

CIRCULAR-VALUE MODEL FOR PROJECT MANAGEMENT OF RESIDENTIAL AREAS ENERGY SUPPLY

Abstract. An analysis of the status of energy project implementation was carried out, which made it possible to identify an unresolved scientific and practical problem – the lack of an integrated circular-value model for managing energy supply projects for residential areas. The feasibility of developing such a model, combining the concept of a circular economy and the principles of value-oriented management, has been substantiated. The aim of the study is to create a circular-value model for managing energy supply projects for residential areas based on organic waste, which provides for the formation of a multi-level system for creating, preserving, and increasing value for community residents and the environment. The proposed model consists of five interconnected subsystems that reflect the dynamics of management processes – from the collection and processing of organic waste to energy generation and resource recycling. Its fundamental difference lies in the transition from linear management logic, focused on the efficiency of input and output resources, to a circular paradigm that involves the reuse of material flows, minimization of technological losses, and increased energy autonomy of residential areas. Based on the developed model, a decision support system was created and tested using the example of a residential area in Brody, Zolochiv district, Lviv region. The results of the scenario analysis showed that the main factors contributing to the growth of the integrated value of energy supply projects for residential areas are the reduction of technological losses and the improvement of energy output monitoring and management efficiency. The results confirmed the model's adequacy, its ability to reproduce the patterns of value formation in a dynamic project environment, and the feasibility of using it as a tool for substantiating management decisions in the field of project management and sustainable community development. Prospects for further research are related to the integration of the model into a digital project management platform, which will improve the accuracy of forecasting, ensure the adaptability of management decisions, and support the development of climate-neutral energy systems in residential areas.

Keywords project management; model; circular paradigm; value; energy supply; communities; organic waste; sustainable development; intelligent technologies; decision support system

References

1. Tryhuba, I. et al. (2024). European Green Deal: Substantiation of the rational configuration of the bioenergy production system from organic waste. *Energies*, 17(17), 4513. <https://doi.org/10.3390/en17174513>
2. Tryhuba, A. et al. (2025). Optimizing energy systems of livestock farms with computational intelligence for achieving energy autonomy. *Scientific Reports*, 15, 10777. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92836-6>
3. Kucher, O. et al. (2025). Application of marketing tools in the bioeconomic sector. *Sustainability*, 17(8), 3590. <https://doi.org/10.3390/su17083590>
4. Bushuyev, S. D., Dorosh, M. S., & Lytvynenko, N. V. (2016). Innovative thinking in the formation of new project management methodologies. *Project Management and Development of Production*, 2(26). URL: <https://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-26/7.pdf>
5. Zachko, O. B. (2015). Theoretical approaches to safety management in development projects of complex systems. *Management of Development of Complex Systems*, 22, 48–53. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/1064>
6. Tryhuba, A. et al. (2021). Risk assessment of investments in projects of production of raw materials for bioethanol. *Processes*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/pr9010012>
7. Tryhuba, A. et al. (2020). Model of assessment of the risk of investing in the projects of production of biofuel raw materials. *2020 International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2, 151–154. <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322024>
8. Tryhuba, A. et al. (2024). Coordination of configurations of technologically integrated “European Green Deal” projects. *Advances in Renewable Energy Systems*, MDPI, 327–339. <https://doi.org/10.3390/pr10091768>
9. Ahmed, S., Ali, A., & D’Angola, A. (2024). A review of renewable energy communities: Concepts, scope, progress, challenges, and recommendations. *Sustainability*, 16(5), 1749. <https://doi.org/10.3390/su16051749>
10. Shaier, A. A. et al. (2025). Multi-objective optimization and algorithmic evaluation for hybrid renewable energy systems. *Scientific Reports*, 15, Article e-pub ahead of print. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84227-0>
11. Tryhuba, A. (2025). Models for sustainable management of livestock waste based on neural network architectures. *Scientific Reports*, 15, 28082. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40750980/>
12. Kobylkin, D. et al. (2025). Management of critical parameters of logistics and infrastructure projects by means of a computer experiment (on the example of the security and defense sector in war conditions). *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 3(33), 33–44. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.3.033>
13. Bushuyev, S. D. et al. (2025). Successful management of public health projects driven by AI in a BANI environment. *Computation*, 13(7), 160. <https://doi.org/10.3390/computation13070160>
14. Bushuyev, S. D., Bushuyeva, N. S., & Yazykov, D. V. (2022). Management of agrarian sector development projects based on the principles of circular economy. *Management of Development of Complex Systems*, 52, 21–27. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.21-27>
15. Alotaibi, S. et al. (2024). A Holistic Framework to Accelerate Implementation of Circular Economy in Mega-Scale Construction Projects. *Applied Sciences*, 14(23), 10958. <https://doi.org/10.3390/app142310958>
16. Serra, C. E. M., & Kunc, M. (2015). Benefits realisation management and its influence on project success and on the execution of business strategies. *International Journal of Project Management*, 33(1), 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.03.011>
17. Martinsuo, M., & Killen, C. P. (2014). Value management in project portfolios: Identifying and assessing strategic value. *Project Management Journal*, 45(5), 56–70. <https://doi.org/10.1002/pmj.21452>
18. Jayakodi, S. et al. (2024). Circular economy assessment using project-level and organisation-level indicators. *Journal of Building Engineering*, 110084. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110084>
19. Kuitert, L. et al. (2024). Value integration in multi-functional urban projects. *Building Research & Information*, 52(7), 1303–1321. <https://doi.org/10.1080/01446193.2023.2264969>
20. Bos-de Vos, M., van Bueren, E., & Boon, W. (2025). Projecting to promote sustainability transitions through joint value creation. *International Journal of Project Management*, 43(6), 101001. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2025.101001>

Посилання на публікацію

- APA Tryhuba, A., Andrushkiv, O., & Tryhuba, I. (2025). Circular-value model for project management of residential areas energy supply. *Management of Development of Complex Systems*, 64, 138–152. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.64.138-152](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.64.138-152).
- ДСТУ Тригуба А. М., Андрушків О. Я., Тригуба І. Л. Циркуляційно-ціннісна модель управління проектами енергозабезпечення житлових масивів. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2025. № 64. С. 138 – 152. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.64.138-152](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.64.138-152).