

УДК 69.05:699.86

С. В. Пастухова*

старший викладач, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0853-5611>

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Запорізький національний університет, проспект Соборний, 226, Запоріжжя, Україна 69000

*автор-кореспондент, e-mail: susannapastukhova@gmail.com

Багатокритеріальний синтез організаційно-технологічних рішень при зведенні енергозберігаючих цивільних будівель

Цитувати як:

Пастухова, С. В.. (2026). Багатокритеріальний синтез організаційно-технологічних рішень при зведенні енергозберігаючих цивільних будівель. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 25, 416-428. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-31](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-31)

© 2026, Автор. Публікується згідно рекомендацій ліцензії [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Анотація. Робота присвячена розв'язанню науково-прикладної проблеми нівелювання «енергетичного розриву» будівель шляхом удосконалення організаційно-технологічних рішень (ОТР) безпосередньо на етапі виконання будівельно-монтажних робіт. Актуальність дослідження обумовлена зростанням вимог до енергоефективності сучасних будівель та необхідністю забезпечення відповідності фактичних показників енергоспоживання проєктним значенням. Запропоновано нову математичну модель багатокритеріального синтезу, яка формалізує залежність між просторово-часовими параметрами будівельних потоків та втратами теплотехнічної однорідності огорожувальних конструкцій, враховуючи вплив технологічних перерв, погодних умов і людського фактора.

На відміну від традиційних підходів, що базуються переважно на календарному плануванні, у роботі застосовано метод оптимізації технологічних розривів між процесами влаштування теплоізоляції та її герметизації. Це дозволяє мінімізувати виникнення дефектів, пов'язаних із порушенням суцільності теплоізоляційного контуру, та зменшити тепловтрати ще на стадії зведення об'єкта. Розрахунковий експеримент, проведений із використанням імітаційного моделювання та варіативного аналізу, доводить, що перехід до індустріалізованого монтажу з високим ступенем просторового суміщення генерує суттєвий синергетичний ефект: енерговитрати технологічних процесів на стадії зведення скорочуються на 26,2%, а подальше експлуатаційне енергоспоживання – на 35,1%.

Встановлено, що попри локальне зростання початкової кошторисної вартості на 4%, інтегральний критерій технологічної ефективності зростає з 0,84 до 1,11, що свідчить про економічну доцільність впровадження запропонованих рішень у середньо- та довгостроковій перспективі. Додатково обґрунтовано, що оптимізація організаційно-технологічних параметрів позитивно

впливає на якість виконання робіт, знижує ризики виникнення прихованих дефектів і підвищує надійність експлуатаційних характеристик будівель.

Запропонована організаційно-технологічна модель дозволяє скоротити терміни зведення об'єкту на 21,4%, підвищити рівень керуваності будівельних процесів та виступає надійним інструментом гарантування досягнення проектних показників будівель з майже нульовим енергоспоживанням (nZEB), що відповідає сучасним європейським стандартам енергоефективності та сталого розвитку будівництва.

Ключові слова: багатокритеріальний синтез, індустріалізований монтаж, будівельний потік, технологічний розрив, енергетичний розрив

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Сучасний етап розвитку цивільного будівництва визначається масштабним переходом до зведення енергозберігаючих будівель, що закріплено на рівні європейських директив та національного законодавства України. [1; 2] Однак, критичною залишається проблема «енергетичного розриву» (energy performance gap), тобто суттєвої розбіжності між проектною енергоефективністю будівлі та її фактичним енергоспоживанням на стадії експлуатації. Практика свідчить, що до 70% факторів, які зумовлюють цей розрив, формуються не під час експлуатації, а безпосередньо в процесі зведення об'єкта через недосконалі організаційно-технологічні рішення (ОТР).

Традиційні підходи до організації будівельного виробництва розглядають зведення будівлі як набір дискретних операцій, що призводить до лінійної фрагментації технологічних потоків. З технологічної точки зору, це зумовлює виникнення неконтрольованих просторово-часових розривів між суміжними процесами (наприклад, між монтажем віконних блоків та влаштуванням захисного гідроізоляційного шару, між закріпленням теплоізоляційних плит). Такі організаційні паузи конвертуються у фізичні дефекти: атмосферне зволоження утеплювача, деструкцію стиків вітровими навантаженнями та утворення технологічних теплових містків [3; 4]. Для подолання цієї проблеми необхідний перехід від інструментів простого контролю термінів до багатокритеріального синтезу параметрів будівельних потоків. Виникає гостра потреба у математичному інструментарії, який дозволить проектувати технологію монтажу таким чином, щоб безперервність процесів гарантувала збереження проектного термічного опору оболонки будівлі.

Проблематика підвищення надійності монтажних процесів та мінімізації організаційних втрат (waste) глибоко досліджена в межах концепції ощадливого будівництва (Lean Construction) [5]. Фундаментальні засади картування потоку створення цінності, закладені у працях M. Rother

та J. Shook, доводять, що технологічні очікування та простоти є одними з найбільш деструктивних факторів виробництва [6]. Інтеграція цих принципів із методами системної динаміки (System Dynamics) успішно реалізована в дослідженнях S. Cano і V. Mota, які обґрунтували важливість забезпечення безперервності потоків на будівельному майданчику [7; 8].

Питання цифрової підтримки монтажних робіт розкриті у працях R. Sacks та X. Chen, які доводять ефективність інформаційного моделювання (4D/5D BIM) для превентивного виявлення просторових і часових колізій [9; 10]. Окремі аспекти удосконалення ОТР, з урахуванням енергетичних критеріїв, вивчалися вітчизняними науковцями, зокрема Козик В. В., Мандрика А. С. та Тугай О. А. [11; 12; 13].

Мета і завдання дослідження. Також, варто зазначити, що в чинній науковій літературі вплив технологічних колізій на енергетичний баланс будівлі розглядається переважно як другорядний або якісний фактор. На сучасному етапі відсутня спеціалізована математична модель, яка б переводила організаційні відхилення (наприклад, тривалість простою відкритого утеплювача) у конкретні фізичні показники втрати теплотехнічної однорідності конструкції. Формування такого математичного апарату із застосуванням методів багатокритеріального прийняття рішень (MCDM) є метою даного дослідження [14].

Матеріали та методи

Методикою досліджень передбачено комплексне поєднання теоретичних, аналітичних та імітаційних методів для формування організаційно-технологічних рішень при зведенні енергозберігаючих будівель. Теоретичною основою дослідження слугували положення нормативних документів у сфері енергоефективності будівель та теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій [1; 2; 3; 4]. Методологічний апарат дослідження базується на принципах ошадливого будівництва (Lean Construction) [5; 6; 7; 8], системної динаміки та багатокритеріального прийняття рішень (MCDM), що дозволяє врахувати взаємозв'язки між параметрами будівельних потоків, часовими розривами та енергетичними втратами [14].

У роботі використано такі методи дослідження: системний аналіз (для формалізації будівельного процесу як багатопараметричної системи з взаємопов'язаними організаційно-технологічними параметрами); методи математичного моделювання (для побудови функціональних залежностей між параметрами будівельних потоків (s_1 - s_4) та критеріями ефективності); багатокритеріальна оптимізація (MCDM) (для формування інтегрального критерію технологічної ефективності та вибору оптимального варіанту ОТР) [14]; імітаційне моделювання (для відтворення динаміки будівельних

процесів у часі та оцінки впливу технологічних розривів на результати зведення об'єкта); варіативний (сценарний) аналіз (для порівняння альтернативних стратегій організації будівництва).

Імітаційне моделювання будівельних потоків виконувалося із застосуванням програмного середовища FlexSim, що дозволило відтворювати складні дискретно-подієві процеси у будівництві [15], а для розрахунку конструктивних вузлів та оцінки впливу дефектів на теплотехнічні характеристики – програмний комплекс ЛІРА-САПР [16].

Отримані результати підлягали порівняльному аналізу з використанням інтегрального критерію ефективності, що дозволило обґрунтувати доцільність переходу до індустріалізованих технологій з мінімізацією технологічних розривів.

Результати та обговорення

1. Математичний апарат багатокритеріального синтезу ОТР

Для розв'язання задачі вибору оптимальної технології зведення розроблено математичну модель багатокритеріального синтезу.

Будівельний процес розглядається як багатопараметрична система, стан якої визначається вектором (1) організаційно-технологічних рішень S :

$$S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}, \quad (1)$$

де s_1 – рівень індустріалізації (частка префабрикованих конструкцій підвищеної заводської готовності);

s_2 – коефіцієнт просторово-часового суміщення суміжних будівельних процесів на одній захватці;

s_3 – тривалість технологічного розриву (у годинах) між влаштуванням вразливих елементів (утеплювач) та їх герметизацією;

s_4 – рівень механізації монтажних робіт.

1.1. Формалізація технологічних втрат

Головною технологічною проблемою є втрата теплотехнічної однорідності [3; 4] конструкцій (ΔR) відносно нормативних вимог внаслідок організаційних пауз (s_3) та виконання процесів «мокрим» способом на майданчику замість індустріальної збірки (s_1). Функція втрати термічного опору формалізується як критерій якості $K_R(S)$ (2):

$$K_R(S) = \Delta R_{\text{втрата}} = \sum_{j=1}^m (\lambda_{\omega} \cdot s_{3,j} + \lambda_d \cdot (1 - s_1)) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де λ_{ω} – емпіричний коефіцієнт деградації теплоізоляції від атмосферного впливу за одиницю відкритого простору;

λ_d – технологічний коефіцієнт дефектності ручного неіндустріального монтажу.

1.2. Критерії технологічної тривалості та енергоємності

Також важливим критерієм є загальна тривалість зведення об'єкта $K_T(S)$, яка залежить від ступеня паралельності робіт (s_2) та рівня механізації (s_4) згідно з нормативами організації виробництва (3) [13]:

$$K_T(S) = T_{\text{буд}} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{P_i \cdot s_4} \cdot (1 - s_2) \rightarrow \min, \quad (3)$$

де V_i – обсяги робіт;

P_i – нормативна продуктивність.

Третім критерієм є енергоємність самих будівельних процесів $K_E(S)$, що враховує роботу машин, механізмів та витрати на тимчасове опалення для підтримки технологічних температур (4):

$$K_E(S) = E_{\text{буд}} = E_{\text{мех}}(s_4) + E_{\text{тех}} + E_{\text{тимч}}(s_3) \rightarrow \min, \quad (4)$$

Скорочення технологічних розривів ($s_3 \rightarrow 0$) прискорює закриття теплового контуру та радикально знижує параметр $E_{\text{тимч}}$.

1.3. Цільова функція багатокритеріального синтезу

Оскільки технологічні критерії мають різну розмірність і часто конфліктують (наприклад, підвищення префабрикації збільшує вартість, але скорочує час і втрати), для пошуку оптимуму застосовано метод адитивної згортки. Інтегральний критерій технологічної ефективності набуває вигляду (5):

$$K_{\text{отр}} = \alpha \frac{R_{\text{проект}}}{R_{\text{проект}} - K_R(S)} + \beta \frac{T_{\text{баз}}}{K_T(S)} + \gamma \frac{E_{\text{баз}}}{K_E(S)} \rightarrow \max, \quad (5)$$

де α, β, γ – вагові коефіцієнти значущості ($\alpha + \beta + \gamma = 1$). Для забезпечення характеристик nZEB пріоритет віддається збереженню теплотехнічних властивостей ($\alpha \geq 0,5$).

Практична логіка реалізації запропонованого математичного апарату відображена на структурно-логічних схемах (рис. 1).

Ця схема у вигляді діаграми Ганта ідеально ілюструє, як традиційний метод створює втрати часу (розриви s_3), а індустріалізований метод стискає процеси в один нерозривний блок.

На Рисунок 2 представлена блок-схема, яка розкриває ітераційний інженерний алгоритм: від введення обсягів робіт та формування варіантів потоків до розрахунку деградації термічного опору $K_R(S)$, перевірки нормативних обмежень та остаточного вибору оптимального ОТР.



Рис. 1. Структурно-параметрична матриця формування будівельних потоків:
уєунення технологічного розриву (s_3) за рахунок просторово-часового
суміщення (s_4) та індустріалізації (s_1)

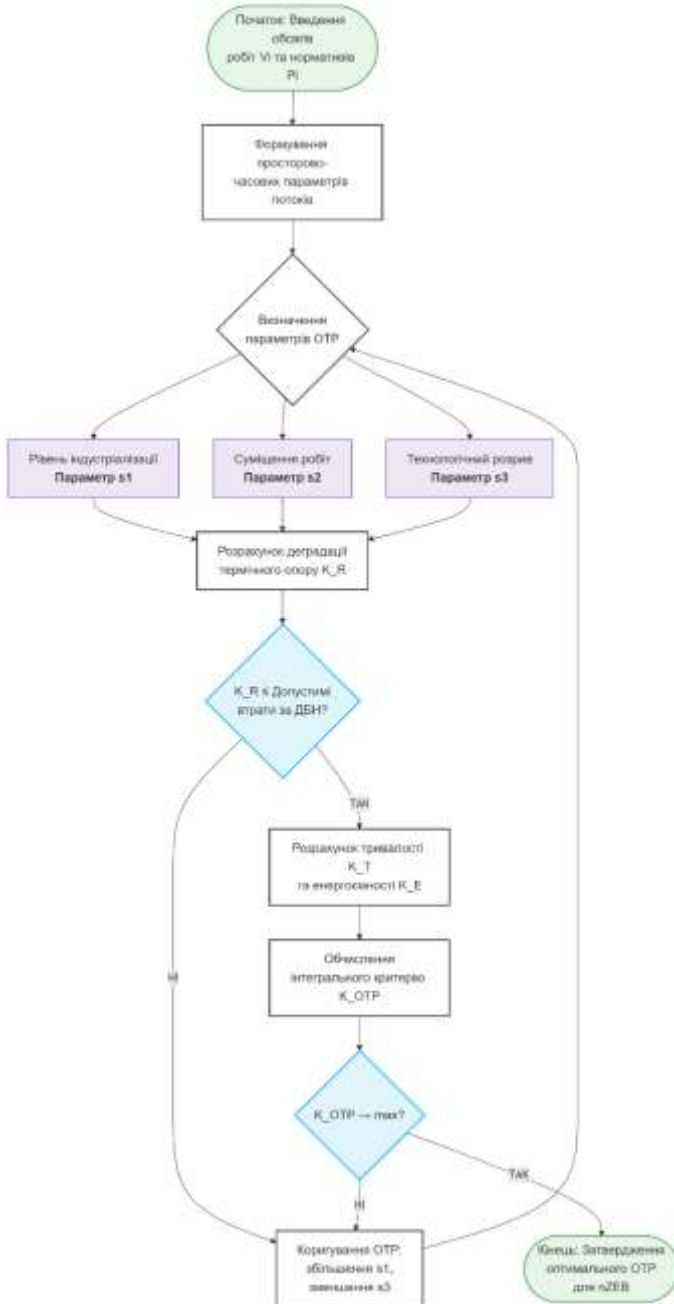


Рис. 2. Алгоритм багатокритеріального синтезу організаційно-технологічних рішень при зведенні енергозберігаючих будівель

2. Верифікація моделі та аналіз результатів

Для підтвердження ефективності розробленого апарату проведено імітаційне моделювання монтажних процесів для базового 5-поверхового цивільного об'єкта (площею 6000 м²), граничні параметри якого було деталізовано для забезпечення репрезентативності розрахункового експерименту та можливості подальшого масштабування результатів: розташування об'єкта в I температурній зоні України (що зумовлює підвищені нормативні вимоги до термічного опору огорожувальних конструкцій), застосування конструктивної системи у вигляді монолітного залізобетонного каркаса. Обчислення проводилися із застосуванням середовища FlexSim для симуляції потоків та вітчизняного програмного комплексу ЛПРА-САПР для розрахунку конструктивних вузлів та оцінки впливу дефектів на теплотехнічні характеристики. Порівнювалися дві технологічні стратегії (таблиця 1):

1) сценарій А (традиційний). Послідовне виконання робіт (вікна, утеплення, фасад) з низьким ступенем префабрикації ($s_1 = 0,1$). Середній технологічний розрив s_3 становить 72 години;

2) сценарій В (оптимізований). Індустріалізований монтаж з використанням стінових модулів високої заводської готовності ($s_1 = 0,85$). Високий рівень просторово-часового суміщення ($s_2 \rightarrow \max$), розрив s_3 мінімізовано до 4 годин.

Таблиця 1. Результати моделювання ефективності організаційно-технологічних стратегій

Показник ефективності	Сценарій А (традиційний)	Сценарій В (індустріалізований)	Відхилення (Δ), [%]
Енерговитрати будівництва ($E_{\text{буд}}$), [МВт*год]	420	310	-26,2
Прогнозні експлуатаційні енерговитрати ($E_{\text{експ}}$), [МВт*год/рік]	185	120	-35,1
Тривалість зведення ($T_{\text{буд}}$), [міс.]	14	11	-21,4
Кошторисна вартість зведення (С), [млн грн]	98	102	+4,08

Аналіз даних (таблиця 1) підтверджує, що синтез ОТР за Сценарієм В знижує енергоємність будівельних процесів на 26,2% завдяки ліквідації

простоїв та скороченню часу на тимчасове опалення відкритих контурів. Найсуттєвішим досягненням є зменшення експлуатаційного енергоспоживання на 35,1%. Математично доведено, що скорочення технологічного розриву (s_3) запобігає втраті термічного опору, зберігаючи теплотехнічну однорідність оболонки на рівні 98,5% від проектної.

Попри локальне зростання початкових інвестицій на 4,08% (через вищу вартість префабрикованих модулів), загальна ефективність є беззаперечною. Розрахунок інтегрального критерію ($\alpha = 0,6$) показав зростання K_{OTP} з 0,84 (для сценарію А) до 1,11 (для сценарію В). Скорочення термінів будівництва на 21,4% (з 14 до 11 місяців) нівелює початкове здорожчання робіт за рахунок зменшення накладних витрат.

Висновки

На основі проведеного дослідження доведено, що фундаментальним деструктивним фактором, який формує «енергетичний розрив» під час зведення цивільних будівель, є не стільки якість застосованих матеріалів, скільки просторово-часова десинхронізація будівельних процесів. Традиційні методи організації робіт генерують значні технологічні розриви між етапами влаштування теплоізоляції та її фінішною герметизацією, через що вплив зовнішніх факторів призводить до втрати проектної теплотехнічної однорідності огорожувальних конструкцій [3].

Для розв'язання цієї проблеми було розроблено нову математичну модель багатокритеріального синтезу організаційно-технологічних рішень, яка переносить фокус оптимізації з глобальних макропоказників проекту на мікропараметри монтажних потоків. Введена цільова функція мінімізації втрат теплотехнічної однорідності дозволила алгоритмічно обґрунтувати технологічну необхідність переходу до префабрикації індустріальних елементів, а також максимального просторово-часового суміщення робіт безпосередньо на будівельному майданчику.

Проведений розрахунковий експеримент повністю підтвердив ефективність запропонованого математичного апарату. Імплементация індустріалізованого монтажу дозволила ефективно усунути організаційні розриви, що забезпечило скорочення загальних термінів зведення об'єкта на 21,4% та суттєво зменшити експлуатаційні енерговитрати на 35,1%. Незважаючи на локальне зростання початкових капіталовкладень на 4% через вартість заводських модулів, підсумковий розрахунок інтегрального критерію технологічної ефективності засвідчив його зростання з 0,84 до 1,11. Це беззаперечно доводить, що запропоновані організаційно-технологічні рішення є дієвим та економічно виправданим механізмом гарантування показників будівель з майже нульовим енергоспоживанням (nZEB) на всьому їхньому життєвому циклі.

Конфлікти інтересів

Автор заявляє, що у нього немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Автор заявляє, що дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Автор заявляє, що усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що при створенні поточної роботи він не використовував технології штучного інтелекту.

References

1. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel, Zakon Ukrainy № 2118-VIII (2025) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
2. Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2010/31/Yes vid 19 travnia 2010 roku pro enerhetychni kharakterystyky budivel (nova redaktsiia), Dyrektyva Yevropeiskoho Soizu № 2010/31/Yes (2018). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-10#Text
3. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel: DBN V.2.6-31:2021. (2022). Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy. 23 s.
4. Enerhoefektyvnist budivel. Enerhopotreby dlia opalennia ta okholodzhennia, vnutrishni temperatury i navantazhennia za yavnoiu ta prykhvanoiu teplotoiu. Chastyna 1. Metodyky rozrakhunku (EN ISO 52016-1:2017, IDT; ISO 52016-1:2017, IDT): DSTU EN ISO 52016-1:2022. (2023). Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs». 27 s.
5. Pastukhova, S., Arutiunian, I., & Azhazha, M. (2025b). Improvement of organizational and technological solutions considering energy efficiency principles and sustainable development in civil construction. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 2(55), 189-198. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(2\).189-198](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).189-198)
6. Rother, M., Shook, J. (2003). Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. Brookline : Lean Enterprise Institute. 102 p.
7. Cano, S., & Rubiano, O. (2020). Dynamics Model of the Flow Management of Construction Projects: Study of Case. *Y 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. International Group for Lean Construction. <https://doi.org/10.24928/2020/0110>
8. Mota, B. P., Viana, D. et Isatto, E. L. (2010). Simulating the Last Planner With Systems Dynamic. *Y 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1345.2327>
9. Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010b). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction*

10. Chen, X., Zhu, Y., Chen, H., Ouyang, Y., Luo, X., & Wu, X. (2021). BIM-based optimization of camera placement for indoor construction monitoring considering the construction schedule. *Automation in Construction*, 130, 103825. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103825>

11. Kozyk, V. V., Marushchak, U. D., & Marko, O. Y. (2024b). Assessment of Energy Efficiency in the Life Cycle of Residential Building Objects. *Business Inform*, 5(556), 201-207. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-201-207>

12. Mandryka, A. S. ta in. (2021). *Enerhoefektyvni tekhnolohii : navchalnyi posibnyk* (za zah. red. A. S. Mandryky). Sumy : Sumskiy derzhavnyi universytet. 330 s. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/997e7d13-39b2-46ef-9b8d-b9bdcc6233b0/content>

13. Tuhai, O. A. ta in. (2018). *Orhanizatsiia budivelnoi diialnosti : pidruchnyk*. Kyiv : «MP Lesia». 247 s.

14. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014b). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165-179. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>

15. *AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions*. (б. д.). AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions. <https://www.anylogic.com/> (date of access: 11.05.2026)

16. *Structural Analysis Software*. (б. д.). Structural engineering software | Liraland Group. <https://www.liraland.com/lira/> (date of access: 11.05.2026)

Література

1. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII : станом на 3 серп. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

2. Директива Європейського Парламенту і Ради 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель (нова редакція) : Директива Європ. Союзу від 19.05.2010 № 2010/31/ЄС : станом на 24 груд. 2018 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-10#Text

3. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [На заміну ДБН В.2.6-31:2016; чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 23 с.

4. ДСТУ EN ISO 52016-1:2022. Енергоефективність будівель. Енергопотребности для опалення та охолодження, внутрішні температури і навантаження за явною та прихованою теплою. Частина 1. Методики розрахунку (EN ISO 52016-1:2017, IDT; ISO 52016-1:2017, IDT). [На заміну ДСТУ Б EN ISO 13790:2011; чинний від 2024-06-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 27 с.

5. Pastukhova S., Arutiunian I., Azhazha M. Improvement of organizational and technological solutions considering energy efficiency principles and sustainable development in civil construction. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2025. Vol. 2, № 55. P. 189-198. URL: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(2\).189-198](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).189-198)

6. Rother M., Shook J. Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. Brookline : Lean Enterprise Institute, 2003. 102 p.

7. Cano S., Rubiano O. Dynamics Model of the Flow Management of Construction Projects: Study of Case. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Berkeley, California, USA, 6-10 July 2020. 2020. URL: <https://doi.org/10.24928/2020/0110>

8. Mota B. P., Viana D. et Isatto E. L. Simulating the Last Planner With Systems Dynamic. *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Haifa, Israel. 2010. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1345.2327>

9. Sacks R. et al. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2010. Vol. 136, № 9. P. 968-980. URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000203)

10. Chen X. et al. BIM-based optimization of camera placement for indoor construction monitoring considering the construction schedule. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 130. P. 103825. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103825>

11. Kozyk V. V., Marushchak U. D., Marko O. Y. Assessment of Energy Efficiency in the Life Cycle of Residential Building Objects. *Business Inform*. 2024. Vol. 5, № 556. P. 201-207. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-201-207>

12. Мандрика А. С. та ін. Енергоефективні технології : навчальний посібник ; за заг. ред. А. С. Мандрики. Суми : Сумський державний університет, 2021. 330 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/997e7d13-39b2-46ef-9b8d-b9bddc6233b0/content>

13. Тугай О. А. та ін. Організація будівельної діяльності : підручник. Київ : «МП Леся», 2018. 247 с.

14. Zavadskas E. K., Turskis Z., Kildienė S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*. 2014. Vol. 20, № 1. P. 165-179. URL: <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>

15. AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions. *AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions* : website. URL: <https://www.anylogic.com/> (дата звернення: 11.05.2026)

16. Structural Analysis Software. *Structural engineering software | Liraland Group* : website. URL: <https://www.liraland.com/lira/> (дата звернення: 11.05.2026)

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.05.2026	Received 12.05.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді 24.05.2026	Received in revised form 24.05.2026
Прийнято 27.05.2026	Accepted 27.05.2026
Опубліковано 29.05.2026	Published 29.05.2026

S. V. Pastukhova*

Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0853-5611>

Department of Industrial and Civil Engineering

Zaporizhzhia National University, Sobornyi Avenue, 226, Zaporizhzhia, Ukraine 69000

*corresponding author, e-mail: susannapastukhova@gmail.com

Multi-criteria synthesis of organizational and technological solutions in the construction of energy-saving civil buildings

How to Cite:

Pastukhova, S. V. (2026). Multi-criteria synthesis of organizational and technological solutions in the construction of energy-saving civil buildings. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 25, 416-428. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-31](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-31)

Abstract. The work is devoted to solving the scientific and applied problem of leveling the «energy gap» of buildings by improving organizational and technological solutions (OTR) directly at the stage of construction and installation works. The relevance of the study is due to the increase in requirements for energy efficiency of modern buildings and the need to ensure that actual energy consumption indicators correspond to design values. A new mathematical model of multi-criteria synthesis is proposed, which formalizes the dependence between the spatial-temporal parameters of construction flows and losses of thermal uniformity of enclosing structures, taking into account the influence of technological breaks, weather conditions and the human factor. Unlike traditional approaches, which are based mainly on calendar planning, the work uses a method of optimizing technological gaps between the processes of installing thermal insulation and its sealing. This allows to minimize the occurrence of defects associated with a violation of the continuity of the thermal insulation contour and reduce heat loss even at the stage of construction of the object. A computational experiment conducted using simulation modeling and variant analysis proves that the transition to industrialized assembly with a high degree of spatial combination generates a significant synergistic effect: the energy consumption of technological processes at the construction stage is reduced by 26,2%, and the subsequent operational energy consumption is reduced by 35,1%.

It was established that despite the local increase in the initial estimated cost by 4%, the integral criterion of technological efficiency increases from 0,84 to 1,11, which indicates the economic feasibility of implementing the proposed solutions in the medium and long term. Additionally, it is substantiated that the optimization of organizational and technological parameters has a positive effect on the quality of work, reduces the risks of hidden defects and increases the reliability of the operational characteristics of buildings.

The proposed organizational and technological model allows you to reduce the construction time of the facility by 21,4%, increase the level of controllability of construction processes and serves as a reliable tool for guaranteeing the achievement of design indicators of buildings with almost zero energy consumption (nZEB), which meets modern European standards of energy efficiency and sustainable development of construction.

Keywords: multi-criteria synthesis, industrialized assembly, construction flow, technological gap, energy gap