

DOI: 10.32347/2076-815X.2025.90.366-376

УДК: 69.059.3:620.9

к.т.н. **Перегінець І.І.**,
ivan.pereginets@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3812-6509,
Директор НТЦ Академії будівництва України, м. Київ

ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА ІНДИВІДУАЛЬНИХ БУДИНКІВ СТАНДАРТУ NZEB ЗА ПРОЕКТАМИ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Представлено організаційно-технологічну модель серійного будівництва індивідуальних житлових будинків стандарту NZEB (Nearly Zero Energy Building) із застосуванням проектів повторного використання. Актуальність дослідження визначається нагальною потребою України у швидкому та якісному відновленні житлового фонду, що має відбуватися відповідно до європейських вимог енергоефективності та декарбонізації. Сучасна практика показує, що навіть за наявності оптимальних проектних рішень фактичні енергетичні характеристики будинків часто відрізняються від запланованих, оскільки процес будівництва організовано за принципом разових робіт, без стандартизованих процедур контролю та відтворюваних операцій.

Запропонована модель дозволяє перевести індивідуальне будівництво у формат промислово орієнтованих процесів, де основними інструментами є бібліотека типових рішень, потокова організація робіт та система енергетичного контролю. Бібліотека забезпечує повторюваність конструктивних вузлів і інженерних модулів, зменшуючи варіативність результатів і час на проектування. Лінійно-потокове планування робіт із поділом будинку на зони створює ритм виконання, скорочує тривалість будівельного циклу та дозволяє уникати простоїв. Система контрольних карт і енергоменеджменту майданчика забезпечує виявлення та усунення відхилень на критичних етапах, підвищуючи стабільність досягнення енергетичних параметрів та зменшуючи ризики недотримання стандарту NZEB.

У підсумку доведено, що інтеграція повторюваних проектних рішень, потокової організації процесу та простих інструментів контролю дозволяє підвищити передбачуваність і якість індивідуального житлового будівництва. Практичне значення результатів полягає в можливості масштабованого застосування такої моделі під час повоєнної відбудови, коли критично важливими є одночасне досягнення високої швидкості зведення, гарантованої якості та відповідності сучасним енергетичним стандартам.

Ключові слова: NZEB; проекти повторного використання; лінійно-потокowe будівництво; стандартизація операцій; енергетичний контроль; життєвий цикл; індивідуальні будинки.

1. Вступ. Сучасний розвиток будівельної галузі України визначається низкою суперечливих чинників. З одного боку, спостерігається нагальна потреба у швидкому зведенні нового житлового фонду у зв'язку з воєнними руйнуваннями, зростанням міграційних процесів і дефіцитом якісного житла. З іншого боку, стратегічний курс держави й міжнародні зобов'язання у сфері енергетичної та кліматичної політики вимагають переходу до практик майже нульового споживання енергії стандарту NZEB. Це означає, що сучасне будівництво повинно не лише забезпечити кількісне відновлення житлового фонду, але й гарантувати якісні параметри енергоефективності, відповідність принципам декарбонізації та довготривалої стійкості.

У практиці індивідуального домобудування стандарт NZEB частіше за все декларується на етапі проектування. Архітектори й інженери розробляють енергооптимізовані рішення, підбирають огорожувальні конструкції з низькими значеннями коефіцієнтів теплопередачі, передбачають використання відновлюваних джерел енергії. Однак на етапі реалізації об'єкта виникає суттєвий розрив між проектними намірами та фактичними показниками. До основних джерел відхилень належать: недостатня якість монтажу вузлів, порушення герметичності повітряного контуру, помилки у встановленні інженерних систем, а також відсутність належного контролю під час будівництва. У результаті проектний «паперовий NZEB» часто перетворюється на будинок із середніми енергетичними характеристиками.

Саме тому актуальним завданням стає пошук такої організаційно-технологічної моделі, яка б дозволила перевести індивідуальне житлове будівництво із площини «ремесла» у площину серійного промислового виробництва. Йдеться про перехід від «робіт» як разових дій окремих виконавців до стандартизованих операцій, які відтворюються з високою точністю завдяки типізованим проектним рішенням, бібліотекам BIM-елементів, технологічним картам і чіткій поопераційній логістиці. Саме цей підхід створює передумови для забезпечення стабільних енергетичних параметрів, зменшення ризиків відхилення та оптимізації тривалості будівельного циклу.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що серіалізація будівництва на основі проектів повторного використання (ППВ) у поєднанні з лінійно-поточною організацією процесів дозволяє досягнути не лише зменшення строків і витрат, але й підвищення стабільності досягнення показників NZEB. Фактично ППВ перетворюють індивідуальне будівництво на систему, наближену до промислового виробництва, де кожен об'єкт є елементом серії, а енергетичні характеристики піддаються відтворенню та статистичному контролю.

Таким чином, дослідження спрямоване на вирішення проблеми інтеграції енергетичних стандартів NZEB у масову індивідуальну забудову, що є критично важливим для України в умовах повоєнної відбудови та виконання міжнародних зобов'язань із декарбонізації.

2. Огляд існуючих досліджень

Нормативна база ЄС і України задає чіткі орієнтири для запровадження NZEB стандарту в житловому будівництві, рис.1. Директива 2010/31/ЄС [1] визначила базові вимоги, а подальші уточнення у Директиві (ЄС) 2018/844 [2] зробили акцент на інтеграції відновлюваних джерел та «розумних» систем управління. У 2024 році ухвалено нову редакцію EPBD [3], яка вводить поняття «zero-emission buildings» і робить ще жорсткішими вимоги до енергоефективності. В Україні діють ДБН В.2.6-31:2021 [4] та ДСТУ EN ISO 9972:2022 [5], що регламентують теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій і методи випробування повітронепроникності.

У науковій літературі аналізують різні визначення NZEB і методики розрахунку енергобалансу [6]. В роботі [7] автори показують, що фактичні результати реалізованих проектів відрізняються від проектних, особливо через слабку організацію процесів. Дослідження доводять, що cost-optimal підходи найкраще працюють при серійному відтворенні рішень [8]. В роботі [9] підтверджується важливість контролю повітронепроникності як критичного параметра. Автори роботи [10] акцентують увагу на ролі комісіонування (commissioning), як комплексна процедура перевірки систем опалення, охолодження, вентиляції, освітлення, автоматики у забезпеченні стабільності результатів.

Дослідження [11] пропонують методику оцінки енергоефективності будівель у межах усього життєвого циклу. Застосуванню BIM-технологій при проектуванні громадських будівель присвячена робота [12]; В роботі [13] авторка пропонує методики оцінки енергоефективності міських кварталів; Дослідження [14] визначають причини гальмування поширення «пасивних будинків» в Україні; Автори роботи [15]) демонструють поступове формування національної школи NZEB. Вони охоплюють LCC-аналіз, приклади застосування BIM, методики оцінки стану забудови та бар'єри впровадження пасивних будинків. Аналіз наявних досліджень засвідчує: хоча в теорії та нормативному полі питання NZEB розроблені досить глибоко, практична організація будівництва індивідуальних будинків цього стандарту лишається фрагментарною. Найбільший розрив спостерігається між проектними намірами й фактичними результатами на майданчику. Саме тому виникає потреба у нових організаційно-технологічних моделях, які поєднують стандартизацію рішень, потокову організацію процесу й обов'язковий контроль критичних

операцій. Запропонована у статті модель спрямована на закриття цієї прогалини та забезпечення передбачуваного досягнення енергетичних цілей у масовому індивідуальному будівництві.

3. Мета і задачі досліджень. Мета роботи полягає в розробці організаційно-технологічної моделі серійного будівництва індивідуальних будинків стандарту NZEB на основі проектів повторного використання. Виходячи з мети, сформовано наступні задачі дослідження:

1. Сформувані бібліотеку проектів повторного використання для індивідуальних будинків NZEB.

2. Розробити лінійно-потокową схему будівництва з тактуванням операцій.

3. Створити просту систему контролю енергетичної якості та показників стабільності виконання робіт.

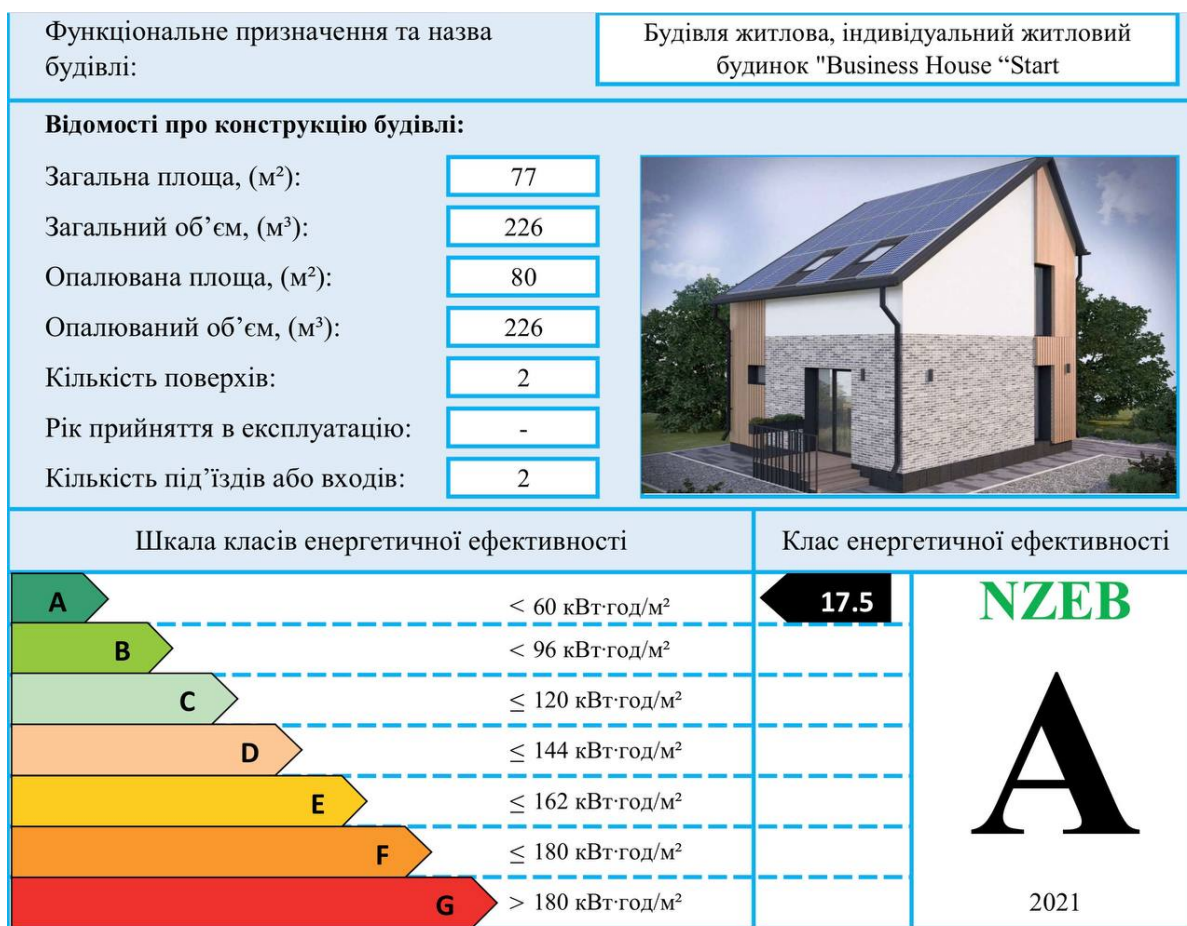


Рис. 1. Енергосертифікат стандарту NZEB будинку Start ТМ «Business House»

4. Виклад основного матеріалу

4.1. Для забезпечення відтворюваності необхідно сформувані бібліотеку рішень, т

табл.1. Вона включає: типові вузли огорожувальних конструкцій (стіна, дах, фундамент) з паспортними U-значеннями; інженерні модулі (тепловий насос, вентиляція з рекуперацією, фотоелектрична система); SOP (стандартні операційні процедури) та чек-листи для контролю монтажу.

Формула коефіцієнта повторюваності:

$$K_{rep} = \frac{N_{id}}{N_{all}}$$

де N_{id} - число ідентичних вузлів у серії; N_{all} - загальна кількість вузлів. Чим ближче K_{rep} до 1, тим вища повторюваність і передбачуваність.

Структура бібліотеки відтворюваності є наступною:

- архітектурні типи;
- конструктивні вузли;
- інженерні модулі;
- модулі елементів оздоблення;
- модулі санітарно-технічних та електроосвітлювальних приладів.

Таблиця 1.

Бібліотека типових рішень для будинків NZEB

№	Елемент / рішення	Типове виконання	Характеристика / цільові параметри	Контроль якості
1	2	3	4	5
1	Зовнішня стіна	Стіна-каркас із утепленням 250 мм	$U \leq 0,15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	Теплотехнічний паспорт, фото швів
2	Дах	Компакт-покрівля з утепленням 400 мм	$U \leq 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	Тест безперервності пароізоляції
3	Підлога по ґрунту	Плита-утеплювач із терморозривом	$U \leq 0,15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	Візуальний контроль стиків
4	Вікно	Трипакет, теплорамка, «теплій» монтаж	$U(g) \leq 0,9 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, $g \geq 0,5$	Термографія примикань
5	Герметизація проходів	Пароізоляційні манжети та стрічки	Повітронепроникність $n_{50} \leq 1,0 \text{ год}^{-1}$	Blower-door тест
6	Сходи/перекриття	Дерев'яні балки з утепленням	Виключення теплових містків	Фото-докази вузлів
7	Вентиляція	Установка з рекуперацією	$\eta_h \geq 80 \%$, рівень шуму $\leq 25 \text{ дБ}$	Балансування повітря

1	2	3	4	5
8	Опалення	Тепловий насос «повітря–вода»	$COP \geq 3,0$ при $-7...+7$ °C	Пусконаладжувальні акти
9	Гаряче водопостачання (ГВП)	Комбінована система: ТН + геліоколектор	Покриття до 60 % річного попиту	Моніторинг температур
10	Сонячна електростанція (PV)	Потужність: 8–10 кВт на будинок Start	Власне споживання ≥ 40 %	Смарт-лічильник, звіт генерації

4.2. Оптимальною схемою організації технологічного процесу будівництва індивідуальних будинків стандарту NZEB є лінійно-потокова.

Будинок ділиться на зони, а бригади рухаються караванним принципом за узгодженим такт-планом, рис. 2.

Формула такту робіт в будівництві може бути виражена формулою:

$$T_{\text{takt}} = \frac{T_{\text{cicle}}}{T_{\text{zones}}}$$

де T_{takt} - час, через який бригада повинна перейти від однієї зони (або модуля будинку) до іншої;

T_{cicle} - загальний цикл будівництва (наприклад, 90 робочих днів для будинку Start ТМ «Business House»);

T_{zones} – кількість зон або модулів, на які поділений будинок (фундамент, стіни, дах, вікна, інженерія ОВ; ВК, інженерія «розумного будинку», фасадне оздоблення, інтер'єри).

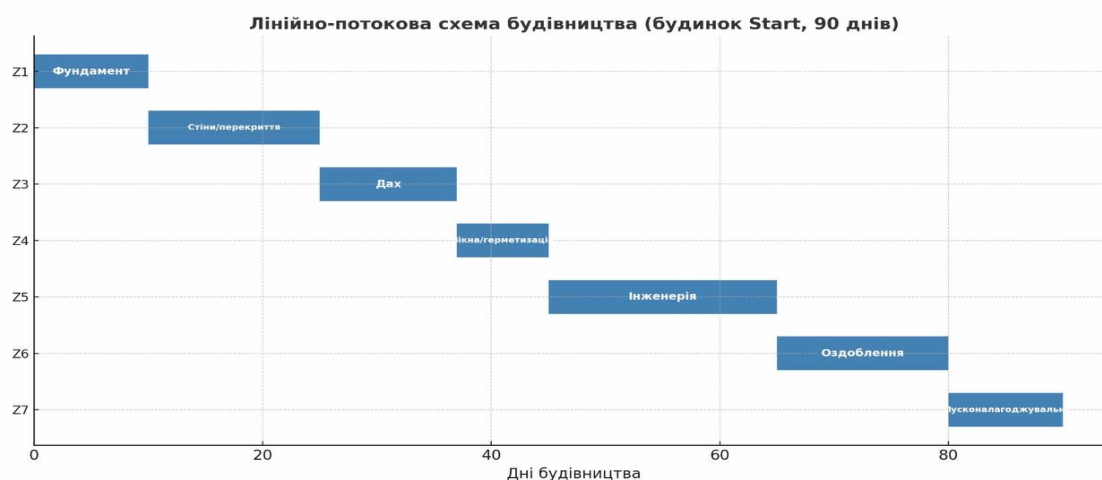


Рис. 2. Графік виконання робіт бригадами по зонах.

Стандартизація процесів виконання окремих операцій мінімізує відхилення від проектних графіків та кошторисів будівництва.

Етапи будівництва будинку за лінійно-поточною схемою приведені на рис.3.

4.3. Стандарт NZEB регламентує енергоспоживання будинку виключно в певних межах. Для контролю параметрів енергетичної ефективності запроваджується індекс енергостабільності : I_{ES}

$$I_{ES} = 1 - \frac{g(E_{fact})}{E_{target}}$$

де gE_{fact} – відхилення фактичного енергоспоживання;

E_{target} – цільове значення енергоспоживання.

Приклад: ми побудували 3 однакових будинки Start TM «Business House», площею по 80 м² кожен.

За проектом цільове значення енергії для них:

$E_{target} = 60$ кВт·год/м²·рік.

Після вимірів отримали фактичні показники: будинок 1 - 62 кВт·год/м²·рік; будинок 2 - 65 кВт·год/м²·рік; будинок 3 - 58 кВт·год/м²·рік;

Обчислюємо середнє фактичне значення: 62 кВт·год/м²·рік;

Обчислюємо відхилення кожного будинку від середнього: будинок 1: 62 – 61,7 = +0,3; будинок 2: 65 – 61,7 = +3,3; будинок 3: 58 – 61,7 = –3,7;

Застосовуємо квадрати відхилень для правильного врахування усіх відхилень і дати єдиний показник стабільності: будинок 1: 0,3² = 0,09; будинок 2: 3,3² = 10,89; будинок 3: (–3,7)² = 13,69. Сума = 24,67.

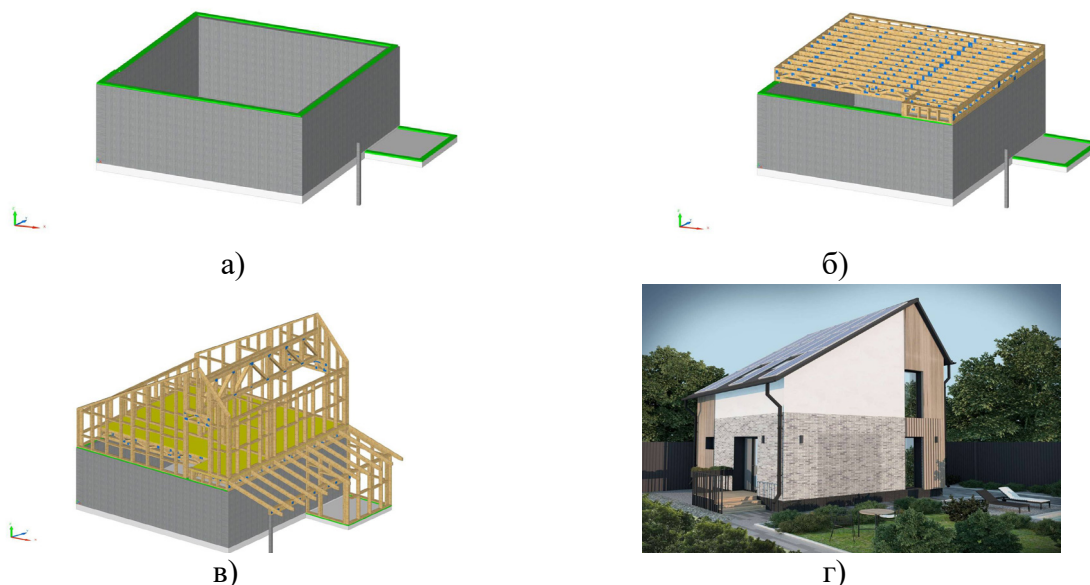


Рис. 3. Лінійно-поточна схема організації технологічного процесу будівництва індивідуальних будинків: а) стіни будинку з ніздрюватих бетонів; б) балки перекриття дерев'яні на металевих пластинах; в) дерев'яний каркас мансардного поверху і покрівлі; г) оздоблення фасаду, встановлення сонячної електростанції, благоустрій.

Середнє квадратичне (дисперсія): 8,22. Стандартне відхилення $\sqrt{8,22} = 2,87$ кВт·год/м²·рік. Розрахунок індексу енергостабільності для даного прикладу:

$$I_{ES} = 1 - \frac{2,87}{60} = 1 - 0,048 \approx 0,95, \text{ що є високою стабільністю.}$$

Висновки. Мета дослідження досягнута: розроблено організаційно-технологічну модель серійного будівництва індивідуальних будинків стандарту NZEB із використанням проектів повторного використання, яка поєднує стандартизацію рішень, лінійно-потокową організацію робіт та систему енергетичного контролю.

У процесі роботи виконано поставлені задачі:

1. Сформовано бібліотеку рішень для повторного використання. Вона включає типові конструктивні вузли та інженерні модулі з заданими енергетичними характеристиками, що зменшує час на проектування та кількість помилок під час будівництва.
 2. Розроблено лінійно-потокową схему будівництва. Поділ будинку на зони та застосування тактованої організації забезпечують ритмічність робіт, скорочення загального циклу будівництва і підвищення ефективності використання ресурсів.
 3. Запропоновано систему енергетичного контролю. Використання контрольних карт і проміжних випробувань дозволяє своєчасно виявляти відхилення від проектних показників, підвищувати ймовірність досягнення стандарту NZEB і знижувати ризики недотримання енергетичних вимог.
- Практичне значення результатів дослідження полягає в можливості масштабованого застосування моделі під час повоєнної відбудови України, коли необхідно поєднувати високу швидкість, якість та енергоефективність житлового будівництва.

Список літератури

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPBD). Official Journal of the European Union. 2010.
2. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union. 2018.
3. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union. 2024.
4. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. Київ : Мінрегіон України, 2021.
5. ДСТУ EN ISO 9972:2022. Теплові характеристики будівель. Визначення повітропроникності будівель. Метод випробування тиском. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
6. Marszal A.J., Heiselberg P., Bourrelle J.S., Musall E., Voss K., Sartori I., Napolitano A. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. Energy and Buildings. 2011. Vol. 43, Iss. 4. P. 971–979. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.022.

7. D'Agostino D., Zangheri P., Bertoldi P. Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A focus on retrofit in non-residential buildings. *Energy Strategy Reviews*. 2021. Vol. 35. Article 100680. DOI: 10.1016/j.esr.2021.100680.
8. Ferrara M., Monetti V., Fabrizio E. Cost-optimal analysis for nearly zero energy buildings design and optimization: A critical review. *Energies*. 2018. Vol. 11, Iss. 6. Article 1478. DOI: 10.3390/en11061478.
9. Šadauskienė J., Stankevičius V., Bliūdžius R., Gailius A. Impact of air tightness on energy performance of the building. *Energies*. 2014. Vol. 7, Iss. 8. P. 4972–4987. DOI: 10.3390/en7084972.
10. Kantola M., Saari A. Enhancing building commissioning in Finland. *Construction Innovation*. 2014. Vol. 14, Iss. 4. P. 495–514. DOI: 10.1108/CI-06-2013-0031.
11. Козик В.В., Марущак У.Д., Марко О.Й. Оцінка енергоефективності в життєвому циклі об'єктів житлового будівництва. *Бізнес-Інформ*. 2024. № 5. С. 201–207. DOI: 10.32983/2222-4459-2024-5-201-207.
12. Urenev V., Bakhtin D. Design of energy efficient public buildings in Ukraine using BIM tools. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2020. Вип. 57. С. 322–339. DOI: 10.32347/2077-3455.2020.57.322-339.
13. Кащенко Т.О. Методики дослідження стану енергоефективності міської забудови. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2023. Вип. 65. С. 282–290. DOI: 10.32347/2077-3455.2023.65.282-290.
14. Головатюк К. Пасивні будинки в Україні: бар'єри та перспективи. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2023. Вип. 66. С. 290–299. DOI: 10.32347/2077-3455.2023.66.290-299.
15. Вілінська Л.М. Енергоефективність багатоквартирних будівель: проблеми та шляхи підвищення. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 4. С. 66–74. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.66.912.

PhD in Technical Sciences **Pereginets Ivan**,
Director of the **Scientific and Technical Center**
Academy of Construction of Ukraine

INSTITUTIONAL AND BEHAVIORAL ASPECTS OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY IN CONSTRUCTION PROCESSES

The article examines a complex of institutional and behavioral aspects that affect the increase in energy efficiency in construction production processes. Based on a systematic analysis of modern scientific sources, practices of European countries and the results of the author's content analysis of interviews with representatives of Ukrainian construction companies, key barriers and drivers of the implementation of energy-efficient solutions at construction sites were identified. It was found that, despite the availability of technical solutions and the potential for reducing energy consumption in the process of construction and installation work, domestic practice is characterized by a low level of institutional consolidation of energy saving, limited motivation of construction participants, lack of internal standards and control. Particular attention is paid to the analysis of behavioral models of participants in the

construction process, including foremen, engineers and project managers. A significant impact of corporate culture, leadership and social practices (e.g. internal competitions for reducing energy consumption) on the level of efficiency was revealed. It was established that institutional support from management, the availability of energy checklists, energy consumption accounting and tracking systems, as well as internal transparency and competition can become effective mechanisms for increasing the energy efficiency of construction production. The article proposes a classification of typical barriers (financial, informational, organizational, regulatory, technological) and drivers (leadership, internal motivation, customer support, participation in certification programs) that should be taken into account when designing a sustainable construction policy. Practical recommendations are developed for integrating energy efficiency into construction production management systems in Ukraine, in particular through the creation of internal energy monitoring procedures, training programs for employees, digital templates and databases, strengthening tender requirements, as well as stimulating a culture of responsible energy consumption. Thus, the article substantiates that it is the combination of institutional changes and the transformation of behavioral practices that is critically important for ensuring energy efficiency at all stages of the construction process in the context of the transition to climate-neutral construction.

Keywords: energy efficiency of construction; construction site; institutional barriers; behavioral factors; energy management; sustainable development; construction production; energy monitoring; change management; energy consumption culture.

REFERENCES

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPBD). Official Journal of the European Union. 2010.
2. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union. 2018.
3. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union. 2024.
4. DBN V.2.6-31:2021. Thermal insulation of buildings. Kyiv: Ministry of Regions of Ukraine, 2021.
5. DSTU EN ISO 9972:2022. Thermal characteristics of buildings. Determination of air permeability of buildings. Pressure test method. Kyiv: DP "UkrNDNTs", 2022.

6. Marszal A. J., Heiselberg P., Bourrelle J. S., Musall E., Voss K., Sartori I., Napolitano A. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43, Iss. 4. P. 971–979. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.022.
7. D’Agostino D., Zangheri P., Bertoldi P. Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A focus on retrofit in non-residential buildings. *Energy Strategy Reviews*. 2021. Vol. 35. Article 100680. DOI: 10.1016/j.esr.2021.100680.
8. Ferrara M., Monetti V., Fabrizio E. Cost-optimal analysis for nearly zero energy buildings design and optimization: A critical review. *Energies*. 2018. Vol. 11, Iss. 6. Article 1478. DOI: 10.3390/en11061478.
9. Šadauskienė J., Stankevičius V., Bliūdžius R., Gailius A. Impact of air tightness on energy performance of the building. *Energies*. 2014. Vol. 7, Iss. 8. P. 4972–4987. DOI: 10.3390/en7084972.
10. Kantola M., Saari A. Enhancing building commissioning in Finland. *Construction Innovation*. 2014. Vol. 14, Iss. 4. P. 495–514. DOI: 10.1108/CI-06-2013-0031.
11. Kozyk V.V., Marushchak U.D., Marko O.Y. Energy efficiency assessment in the life cycle of residential construction objects. *Business-Inform*. 2024. No. 5. P. 201–207. DOI: 10.32983/2222-4459-2024-5-201-207.
12. Urenev V., Bakhtin D. Design of energy efficient public buildings in Ukraine using BIM tools. *Contemporary problems of architecture and urban planning*. 2020. Issue. 57. P. 322–339. DOI: 10.32347/2077-3455.2020.57.322-339.
13. Kashchenko T.O. Methods of researching the state of energy efficiency of urban development. *Modern problems of architecture and urban planning*. 2023. Issue 65. P. 282–290. DOI: 10.32347/2077-3455.2023.65.282-290.
14. Holovatyuk K. Passive houses in Ukraine: barriers and prospects. *Modern problems of architecture and urban planning*. 2023. Issue 66. P. 290–299. DOI: 10.32347/2077-3455.2023.66.290-299.
15. Vilinska L.M. Energy efficiency of apartment buildings: problems and ways to improve. *Ukrainian Journal of Construction and Architecture*. 2022. No. 4. P. 66–74. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.66.912.