

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.489-509

УДК : 69.05:697.922:620.9

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

## **ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА БУДІВЕЛЬ З ПОЗИТИВНИМ ЕНЕРГОБАЛАНСОМ ЗА КРИТЕРІЯМИ ТОВАРНИХ ОДИНИЦЬ**

*Представлено результати дослідження принципів організації будівництва та управління життєвим циклом житлових будинків з позитивним енергетичним балансом (ПЕБ) за критеріями товарних одиниць. Розглянуто інноваційні архітектурно-конструктивні рішення, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та автоматизованих кліматичних систем при спорудженні таких будівель. Особлива увага приділяється використанню інформаційного моделювання будівель BIM (Building Information Modeling) для оптимізації процесів проектування та експлуатації житлових будинків. Створено класифікацію будівель з позитивним енергобалансом, що заснована на різниці в кількості виробленої та спожитої енергії. Розроблено формулу для оцінки вартості життєвого циклу будівель з позитивним енергобалансом. Проведено розрахунки вартості життєвого циклу будівель з різними класами енергетичної ефективності. Доведено, що концепція енергозберігаючих будинків з позитивним енергобалансом стає необхідною складовою сучасного житлового будівництва в світі. Надано визначення понять будівель з позитивним енергетичним балансом та позитивного енергетичного балансу. Визначено критерії експлуатаційних та споживчих характеристик об'єктів нерухомості. Розроблено концептуальний організаційний план спорудження будинків за критеріями товарних одиниць. Розроблено товарну лінійку індивідуальних будинків за критеріями товарних одиниць. Запропонований авторами статті комплексний підхід в організації будівництва енергоефективних будинків відповідає Директивам ЄС в створенні будівель з нульовими викидами до 2050 р та принципам здорового житла.*

*Ключові слова: організація; технологія; енергоефективність; позитивний енергобаланс; товарна одиниця; BIM-технології; мікроклімат; вартість життєвого циклу; відновлювані джерела енергії; принципи здорового житла.*

**Вступ.** Енергоефективність житла є важливою складовою сталого розвитку. Сучасні будівлі повинні не тільки задовольняти потреби мешканців, але й мінімізувати їх вплив на навколишнє середовище. У цьому контексті

ключову роль відіграють організаційні процеси та технології, які сприяють зменшенню споживання енергії, використовують відновлювані джерела енергії та підтримують загальну декарбонізацію економіки.

У відповідності до Директив ЄС:

- 2010/31/ЄС (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD);
- 2012/27/ЄС (Energy Efficiency Directive, EED);
- 2018/844/ЄС (Recast EPBD);
- регламенту (ЄС) 2020/852;

«Зеленого курсу» ЄС (European Green Deal), та інших документів встановлюються принципи енергетичної ефективності ЄС, що в свою чергу, імплементуються в національні нормативні документи.

Країни співтовариства зобов'язані затвердити технічні критерії сталого будівництва, впроваджувати вимоги до проектування та будівництва нових об'єктів нерухомості з майже нульовим споживанням енергії та мінімальних викидів  $\text{CO}_2$ . Таким чином, до 2050 року весь будівельний сектор ЄС має бути декарбонізований.

Директивою ЄС: 2010/31/ЄС надане визначення поняття (Nearly Zero-Energy Buildings, NZEB) - будівлі з майже нульовим споживанням енергії як: «будівля з дуже високими енергетичними характеристиками...майже нульова або дуже мала кількість необхідної енергії покривається в значній мірі за рахунок відновлюваних джерел, включаючи енергію з відновлюваних джерел, вироблену на місці або поблизу» [1].

Натомість у переглянутій Директиві 2024/1275 від 24 квітня 2024 року зазначено про будівлі з нульовими викидами (Zero-Emission Buildings): «покращена кліматична та енергетична амбіція Союзу вимагає нової візії для будівель: будівля з нульовими викидами, з дуже низьким енергоспоживанням, нульовими викидами вуглецю на місці від викопного палива та нульовими або дуже низькими експлуатаційними викидами парникових газів» [2].

Стандарт EN 15978 регулює оцінку екологічних характеристик будівель і ключові аспекти для розрахунку викидів  $\text{CO}_2$  протягом всіх етапів життєвого циклу:

а) A1-A5: виробництво та транспортування матеріалів, процес зведення споруди розраховується:

$$\text{CO}_2^{\text{total}} = \sum_{i=1}^n (Q_1 \cdot EF_i) + \sum_{i=1}^n (Q_1 \cdot D_1 \cdot EF_{\text{fuel}}) + E_{\text{construction}} \cdot EF_{\text{energy}}$$

де  $Q_1$  – кількість кожного матеріалу;

$EF_i$  – емісійний фактор матеріалу (кг  $\text{CO}_2$ /кг, кг  $\text{CO}_2$ /м. куб);

$D_1$  - відстань транспортування матеріалів (кг);

$EF_{\text{fuel}}$  - емісійний фактор пального (кг  $\text{CO}_2$ /л);

$E_{construction}$  - енергія спожита під час будівельних робіт( кВт-год, літри пального)

$EF_{energy}$  - емісійний фактор будівельних робіт (кг  $CO_2$ / кВт-год, кг $CO_2$ /л);

- б) В1-В7: експлуатаційний період;
- в) С1-С4: демонтаж та утилізація;
- г) D: переробка матеріалів [3].

В Україні питання організації будівельного виробництва та енергоефективності будівель регулюються Законами України (ЗУ) та державними будівельними нормами (ДБН). Зокрема:

1. ЗУ«Про регулювання містобудівної діяльності»;«Про технічні регламенти та оцінку відповідності»; «Про надання будівельної продукції на ринку»; «Про енергетичну ефективність будівель»; «Про енергетичну ефективність»; «Про надання будівельної продукції на ринку»; «Про будівельні норми» [4].

2. ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва»; ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»; ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність»,

іншими законодавчими та нормативними актами.

В статті 21 Директиви 2018 /2001/ЄС зазначено право розпорядження енергією з відновлюваних джерел: «Держави - члени забезпечують, щоб споживачі енергії власного виробництва, розташовані в одній будівлі, в тому числі у багатоквартирному будинку, мали право брати участь у схемах спільного використання відновлюваної енергії, зберігаючи при цьому свої права та обов'язки як кінцеві споживачі.» [5].

Однак, прямого визначення поняття будівлі з позитивним енергетичним балансом (ПЕБ) з відновлюваних джерел в європейських і українських законодавчих чи нормативних документах не надається.

XXI століття характеризується переходом від промислової до цифрової економіки. Ключовими характеристиками постіндустріальної економіки є застосування інформаційних технологій, автоматизації процесів, штучного інтелекту та інтернету речей (IoT). Наслідком цього переходу є різке зростання енергоспоживання для підтримки роботизації промислового виробництва, роботи дата-центрів, обчислювальних платформ та глобальної цифрової інфраструктури.

За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), станом на 2024 рік, дата-центри використовують близько 1% світової електроенергії. Вдаючись до аналогії з роботою людського мозку, який споживає понад 20% енергії для забезпечення когнітивних процесів, пам'яті та підтримки основних життєвих функцій, можливо передбачити експонентний ріст енергетичних потреб для

управління глобальними соціально-економічними процесами вже найближчим часом. Для підтримки своїх «когнітивних» функцій, зберігання даних, квантових обчислень і переходу на електромобільний транспорт цифровій економіці необхідно збільшувати енергогенерацію з відновлюваних джерел енергії.

Будинки з позитивним енергобалансом, як засіб задоволення основоположних потреб людини в житлі, одночасно можуть стати частиною вирішення даної проблеми.

**2. Огляд існуючих досліджень.** Теоретичні і прикладні наукові дослідження з питань організації будівництва, енергозбереження, товарознавства, впровадження новітніх технологій та економічних показників енергетичної ефективності, приведені в роботах українських та зарубіжних вчених. Автори акцентують увагу на глобальних тенденціях у сфері енергоефективного будівництва, що є актуальним для України і світу. В роботі [6] зазначається, що впровадження енергоефективних технологій у комерційну нерухомість стикається з низкою проблем, зокрема відсутністю ефективних державних стимулів та підвищеною вартістю будівництва. Разом з тим не приводяться конкретні рекомендації щодо подолання цих перешкод та приклади успішних проектів, які могли б служити моделлю для інших забудовників. В роботі [7] наведено огляд енергозберігаючих технологій, які можна впроваджувати на етапі проектування житлових будівель. Однак автор не розглянув сучасні технології та матеріали, доступні на ринку з аналізом їх ефективності у контексті українських кліматичних та економічних умов. Сучасні тенденції світового будівництва зазначені в роботі [8], спрямовані на створення будівель, в яких комфортні планувальні рішення поєднуються з екологічністю і енергоефективністю. Проте, в роботі відсутній порівняльний аналіз впровадження цих тенденцій у різних країнах та рекомендації щодо адаптації найкращих практик у вітчизняному будівництві.

Стаття [9] присвячена аналізу політики, технології та практики, необхідні для переходу до будівель з нульовим споживанням енергії. Однак в статті відсутні конкретні приклади успішних проектів у різних регіонах, що продемонстрували б практичну реалізацію запропонованих стратегій.

В роботі [10] зазначається важливість урбаністичного планування для підвищення енергоефективності. Проте автори не аналізують потенційні соціальні та екологічні виклики, пов'язані з підвищенням щільності забудови, такі як зменшення зелених зон, вплив на якість життя та мешканців, зокрема на комплексне поняття комфорту.

Автори дослідження [11] аналізують глобальні тенденції та фактори, що впливають на енергоспоживання для опалення та охолодження будівель. Разом з цим, в статті не приводиться аналіз ефективності різних технологій кондиціонування та рекомендації щодо їх впровадження в різних кліматичних умовах.

В [12] вказано, що «Завданням, яке найчастіше доводиться вирішувати в процесі проектування організації ремонтно-будівельного виробництва, є формування і розрахунок нерівномірних потоків з неоднаковими розмірами приватних фронтів робіт.» Автори акцентують увагу на впровадженні lean-концепції в будівельних підприємствах, що є актуальним напрямом підвищення ефективності. Втім, для реалізації цієї концепції необхідно перебудовувати організаційний процес та адаптуватися до постійних змін в специфіці будівельної галузі.

В колективній роботі [13] приведено теоретичні основи та зміст товарознавства: виробництво, класифікацію, характеристику асортименту і споживних властивостей та якості товарів господарського та культурно-побутового призначення.

Дана праця надає відомості щодо асортименту та якості непродовольчих товарів. Втім, необхідно враховувати стрімкий розвиток ІТ-технологій щоб забезпечити актуальність даних для товарних лінійок довготривалого використання.

Аналіз представлених наукових праць показує, що для подальшого розвитку будівельного сектору необхідно проводити дослідження, які враховують організаційні, технічні, технологічні, демографічні, соціально-економічні, екологічні особливості функціонування об'єктів. До таких напрямків розвитку галузі відноситься застосування уніфікованих підходів до спорудження енергоефективних будівель, притаманних розробці товарних одиниць з заданими споживчими та експлуатаційними характеристиками. Організація будівництва будівель з високою енергетичною ефективністю (NZEB) та будівель з позитивним енергобалансом вимагає додаткового вивчення. Теоретичні основи та практичні алгоритми вирішення пов'язаних із цим проблем, визначають мету та завдання цієї наукової роботи.

**3. Мета роботи та задачі досліджень.** Дослідити особливості організації будівництва та управління життєвим циклом будівель з позитивним енергобалансом за критеріями товарних одиниць.

Для досягнення означеної мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

- визначення понять будівель з позитивним енергобалансом, їх основні характеристики та способи використання надлишкової енергії;

- класифікація будівель з надлишковою енергогенерацією за ступенем зростання позитивного енергобалансу;
- оцінка економічної ефективності будівництва енергоефективних будівель з позитивним енергобалансом на основі вартості життєвого циклу;
- розробка плану заходів по організації будівництва будівель з позитивним енергетичним балансом за проектами повторного використання.

#### 4. Виклад основного матеріалу.

**Визначення понять.** Автор визначає об'єкти нерухомості з позитивним енергобалансом як: *«Будівлі і споруди, які здатні генерувати більший об'єм енергії ніж споживають при дотриманні нормативних параметрів експлуатації, мають високі показники енергетичної ефективності, оснащені відновлюваними джерелами енергії та інтелектуальними системами накопичення і розподілу енергетичних ресурсів»*. Стандарт будівель з позитивним енергобалансом доцільно назвати - «Energy+».

Позитивний енергетичний баланс визначенням як : *«Стан будівлі чи іншої енергетичної системи, при якому обсяг енергії, яка згенерована відновлюваними джерелами енергії, перевищує обсяг спожитої енергії для функціонування будівлі чи іншої енергетичної системи за певний період часу»*.

Основи проектування та зведення будівель з позитивним енергобалансом відповідають теоретичним основам товарознавства, які базується на принципах: безпеки; ефективності; сумісності; взаємозамінюваності; систематизації.

Базовою особливістю організації будівництва будівель як товарних одиниць є застосування проектів повторного використання та BIM-технологій (Building Information Modeling), включно з регламентацією споживчих та експлуатаційних характеристик будинку. Складовою частиною проектної документації є розробка регламентів та моніторинг усіх технічних характеристик споруди на протязі життєвого циклу будівлі (Рис.1).

Сучасна енергоефективна споруда є складною інженерно-інтелектуальною системою, яку доцільно розробити, протестувати і вдосконалити для серійного виробництва за теорією товарного виробництва. Такий підхід надає значні економічні і технологічні переваги перед індивідуальним методом будівництва.

В (таблиця 1) приведені характеристики життєвого циклу індивідуальних будинків з позитивним енергобалансом в порівнянні зі звичайними будинками.

Факторами доцільності застосування товарного підходу до комплектування та зведення енергоефективних будівель є забезпечення їх уніфікованим інженерним обладнанням, енергоефективними конструктивними

елементами, можливість спільної роботи в загальних енергомережах, ремонтнопригодність та єдині центри обслуговування будинку.

Продуктом діяльності такої товарної одиниці є висока якість житла, надлишкова теплова і електрична енергія. Завдяки такому підходу підвищується інвестиційна привабливість об'єкту нерухомості як активу домогосподарства, комунального чи комерційного підприємства.

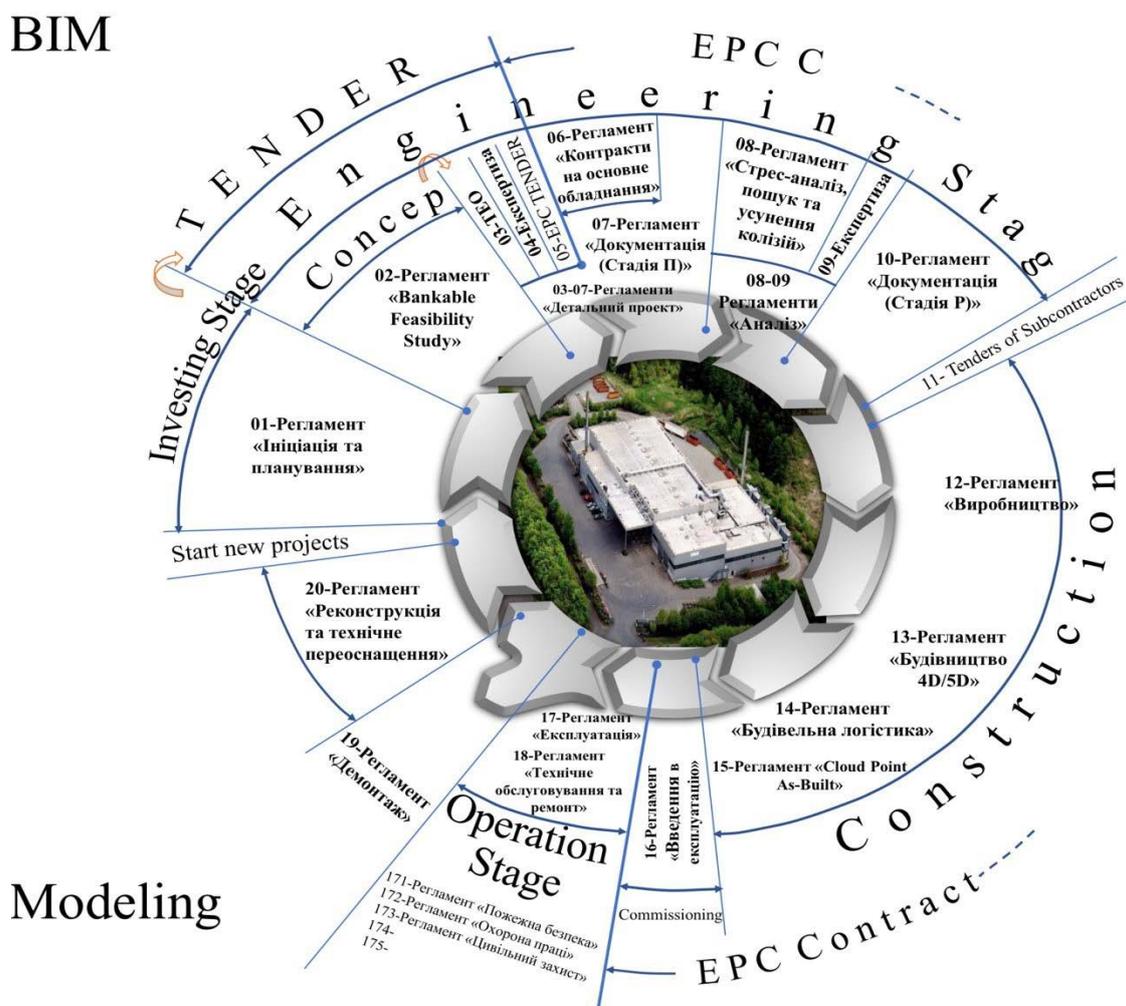


Рис. 1. Регламенти життєвого циклу будинків BIM як товарних одиниць.

### Регламенти створення BIM-моделі:

1. Ініціація та планування.
2. Техніко-економічне обґрунтування для фінансування будівництва.
3. ТEO (1 стадія проектування).
4. Експертиза ТEO.
5. Тендери на комплектацію.

6. Контракти на основне обладнання.
7. Документація (Стадія П).
8. Пошук та усунення колізій.
9. Експертиза.
10. Документація (Стадія Р).
11. Тендери субпідрядників.
12. Виробництво.
13. Будівництво: графіки та кошторисні показники 4D/5D.
14. Будівельна логістика.

15. Створення хмарної моделі збудованого об'єкту.

16. Введення в експлуатацію.

**Регламенти використання BIM-моделі:**

17. Експлуатація

18. Технічне обслуговування та ремонт

19. Демонтаж

20. Реконструкція та технічне переоснащення

Таблиця 1.

Характеристики будівництва будинків «Energy+» та звичайних будинків.

Характеристика будівництва	Будинки Energy+	Звичайні будинки
1	2	3
Енергоспоживання	< 40 кВт·год/м <sup>2</sup> на рік	> 100 кВт·год/м <sup>2</sup> на рік
Джерела енергії	Відновлювані джерела енергії (сонце, вітер, геотермальна енергія, рекуперація енергії повітря і стоків)	Викопне паливо, електроенергія з централізованої мережі
Енергетичний баланс	Позитивний (генерація перевищує споживання)	Негативний (постійне споживання енергії без генерації)
Автономність	100% автономії за рахунок СЕС (сонячна електростанція)	Залежність від зовнішніх джерел енергії або генераторів на світлих нафтопродуктах.
Рівень комфорту	Високий (інтегровані розумні системи управління кліматом, освітленням тощо)	Середній (мінімальні автоматизовані системи)
Ремонтопридатність	Модульна структура серійності товарних одиниць, легкість заміни елементів при різних технологіях будівництва	Складність ремонту через неуніфіковані компоненти
Інтеграція в Smart Grid	Повна інтеграція в інтелектуальні енергетичні мережі	Відсутня інтеграція
Вуглецевий слід	Низький (мінімальні або відсутні викиди CO <sub>2</sub> )	Високий (значні викиди CO <sub>2</sub> через використання викопного палива)
Експлуатаційні витрати	Мінімальні (покриття витрат за рахунок продажу надлишкової енергії)	Високі (комунальні платежі за енергоресурси)
Утилізація	Екологічно чисті матеріали, придатні для переробки	Використання матеріалів з обмеженою можливістю переробки
Інвестиційна привабливість	Висока (короткий термін окупності, дохід від продажу енергії). Мінімізація ризиків кредиторів по іпотеці.	Середня (залежить від місця розташування та стану будівлі). Низька можливість отримання іпотечного кредитування

Продовження таблиці 1

1	2	3
Життєвий цикл	> 100 років (за рахунок високої якості конструкцій, енергоефективних систем та постійного відрахування коштів до фонду відновлення з проведенням капітального ремонту за рахунок додаткових надходжень від продажу надлишкової енергії). Період будівництва до 180 днів.	50–70 років (без суттєвих реконструкцій та модернізацій), мінімальні відрахування для проведення поточних ремонтів, враховуючі значні витрати на енергоносії. Значні періоди будівництва.
Екологічність матеріалів	Використання відновлюваних і нетоксичних матеріалів та обладнання, визначених товарною лінійкою будинків	Здебільшого традиційні будівельні матеріали, які підбираються в роздріб без належної екологічної експертизи
Початкова вартість будівництва	Вища (~15–30% дорожче у порівнянні зі звичайними будинками). Оптимізація собівартості за рахунок проектів повторного використання та уніфікації комплектуючих.	Низька. Збільшується в ході виконання робіт.
Система управління мікрокліматом. Превентивні заходи охорони здоров'я в приміщеннях	Енергоефективна вентиляція, іонізація, ароматерапевтичне обладнання, системи світло та аудіотерапії, зволожувачі/осушувачі повітря, система автоматичної підтримка оптимального мікроклімату та комфорту-«Розумний будинок».	Обмежені заходи, не передбачені спеціальні системи для здоров'я.

Основні напрямки використання профіциту енергії:

- споживання для живлення локальних пристроїв, зарядки електромобілів, теплових насосів, систем «Розумного будинку» (Smart Home);
- зберігання енергії;
- продаж енергії в загальну мережу (Smart Grid);
- передача енергії місцевим об'єктам інфраструктури.

Використання профіциту енергії з будинків із позитивним енергобалансом є важливим напрямом розвитку зеленої економіки. Такий підхід забезпечує: економічну вигоду для власників будинків; зменшення екологічного навантаження; стабілізацію енергосистеми на локальному та глобальному рівнях. Це дозволяє інтегрувати будинки з позитивним енергобалансом у глобальну енергетичну інфраструктуру, забезпечуючи їхню ефективну роль у сталому розвитку громад і територій.

Застосування методу товарних одиниць дозволяє поряд з експлуатаційними, визначити параметри системи управління споживчими характеристиками будівлі: рівень споживання енергії; раціональність планувальних рішень; естетику інтер'єрів і фасадів; комфортні параметри температурного режиму, вологості (45-55%), освітленості (200-500 лк., природне і штучне), рівню іонізації (до 1500 іонів/см. куб.), контролю  $\text{CO}_2$  (до 800 PPM), газу радону (до 100 Бк/м.куб.), оптимальне балансування циркадних ритмів і відчуття природного денного світла (4000-5000 К (кельвін)); та інші, що створюються превентивними технологіями охорони здоров'я людей та системою «Розумний будинок». Чому важливо розділяти поняття споживчих та експлуатаційних характеристик будинку? Для власників будинку: важливим є розуміння споживчих характеристик, що визначають ергономіку, комфорт, зручність проживання, додержання принципів здорового житла. Для постачальників будинків пріоритет мають експлуатаційні характеристики стійкості, надійності, довговічності, пожежної та санітарної безпеки, відповідності ДБН.

**Класифікація будівель з позитивним енергобалансом.** Впровадження категорій будівель стандарту Energy+ здійснюється на основі різниці між об'ємами виробленої та використаної енергії з кроком у 10 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік (таблиця 2). Енергетичну категорію будівлі Energy + позначимо символом En, а позитивний баланс енергії цифрою: 10; 20; 30...

Формула класифікації будівель Energy +:

$$E_n = S - C$$

де: En - різниця між згенерованою та спожитою енергією, що визначає категорію будинку Energy+.

S - згенерована енергія за рік (кВт·год/м<sup>2</sup>).

C - спожита енергія за рік (кВт·год/м<sup>2</sup>).

Таблиця 2.

Категорії будинків будинків Energy+

Категорія будинку Energy+	C - спожита енергія за рік (кВт·год/м <sup>2</sup> ).	S - згенерована енергія за рік (кВт·год/м <sup>2</sup> ).	Баланс енергії $E_n = S - C$ (кВт·год/м <sup>2</sup> ).
En10	n	n + 10	10
En20	n	n + 20	20
En30	n	n + 30	30
En40	n	n + 40	40
En...	n	n + ---	---
En90	n	n + 90	90
En100	n	n + 100	100

**Розрахунок вартості життєвого циклу.** Ключовим аспектом впровадження будинків з позитивним енергобалансом є його економічна доцільність. Відмінністю будинків від інших товарних одиниць є тривалий термін експлуатації. Обґрунтованим періодом розрахунку вартості життєвого циклу будівель - Life Cycle Costing (LCC) є показник -100 років, включаючи вартість проведення поточних та одного капітального ремонту. Розрахунок вартості життєвого циклу будинку враховує всі витрати та доходи за період експлуатації з урахуванням коефіцієнтів інфляції.

Згідно з даними Trading Economist, середньорічний рівень інфляції долара США з 1914 по 2024 р. становив 3,30 %. [14].

Для індивідуального будинку Energy + формула розрахунку вартості життєвого циклу включає наступні складові: початкові витрати на будівництво; суми усіх витрат за період; суми доходів за період від продажу надлишкової електроенергії; суми залишкової (відновленої) вартості будинку (або вартості утилізації),

$$LCC = C_{inv} + \sum_{t=1}^T (C_{maint} \cdot (1 + q)^t + C_{utilities}(1 + q)^t + \sum_{t=25.50.75}^1 (C_{update} \cdot (1 + q)^t - \sum_{t=1}^T (C_{revenue} \cdot (1 + q)^t - C_{residual}(1 + q)^T$$

де :  $C_{inv}$  - витрати на будівництво;

$C_{maint}$  - витрати на утримання (поточні та кап. ремонт), з розрахунку  $n\%$  в рік від  $C_{inv}$ ;

$C_{utilities}$  - страхування та додаткові комунальні послуги;

$C_{update}$  - витрати на оновлення сонячних електростанцій через 25;50;75 р.;

$C_{revenue}$  - дохід від продажу надлишкової електроенергії;

$C_{residual}$  – залишкова вартість будинку з урахуванням  $C_{maint}$ ;

$q$  - річна інфляційна ставка .

IC – коефіцієнт інфляції:  $IC_{100} = (1 + q)^{100}$ .

Виконаємо дослідження вартості життєвого циклу будинків на прикладах.

**Приклад 1.** Розрахунок вартості життєвого циклу індивідуального будинку з позитивним енергобалансом, класу енергоефективності А та наступними техніко-економічними показниками :

- площа 130 м. кв.;
- вартість будівництва 165000 \$;
- питомі енерговитрати 30 кВт·м. кв./рік;
- вартість енергії для продажу- 0,15 \$/ кВт·год;
- страхування, додаткові комунальні платежі -1200 \$/рік;

- витрати на поточні та капітальний ремонт – 1 % вартості будівництва;

- СЕС -12 кВт.

-  $(15000 \text{кВт} \frac{\text{год}}{\text{рік}}, \text{ власне спож. } 3900 \text{кВт} \frac{\text{год}}{\text{рік}}, \text{ профіцит } 11100 \text{кВт} \frac{\text{год}}{\text{рік}})$

-  $q$  - річна інфляційна ставка - 2,5%.

- ІС – коефіцієнт інфляції-  $IC_{100} = (1 + 0,025)^{100} = 11,81$

$$C_{inv}: 165000,0 \text{ US } \$.$$

$$\sum_{t=1}^{100} C_{maint}(t): 1650 \cdot (1 + 0,025)^t = 731547,91$$

$$\sum_{t=1}^{100} C_{utilites}(t): 1200 \cdot (1 + 0,025)^t = 532034,84$$

$$\sum_{t(25.50.75)}^1 (C_{update}): 15000 \cdot (1 + 0,025)^t = 174948,9$$

$$\sum_{t=1}^{100} C_{revenues}(t): 11100 \cdot 0,15 \cdot 444,76 = 738198,35$$

$$C_{residual}: 165000 (1 + 0,025)^{100} = 1949263,2$$

$$LCC = 165000 + 731548 + 532035 + 174949 - 738198 - 1949263 = -1083930 \$.$$

Вартість життєвого циклу будинку від'ємна, тобто за період життєвого циклу прибуток склав: 1 083 930 US \$.

Коефіцієнт зростання вартості житлового активу:  $K = \frac{1083930}{165000} = 6,57$

**Приклад 2.** Вартість життєвого циклу для звичайного індивідуального будинку класу енергоефективності С та наступними техніко-економічними показниками:

- Площа - 130 м.кв.;

- вартість будівництва - 130000 \$;

- питомі енерговитрати - 100 кВт·м.кв./рік;

- вартість енергії- 0,1 \$/ кВт·год;

- страхування, додаткові комунальні платежі -1200 \$/рік;

- витрати на поточні ремонт – 0,5 % в рік від вартості будівництва;

- витрати на утилізацію – 15% вартості будівництва;

-  $q$  - річна інфляційна ставка - 2,5%.

- ІС – коефіцієнт інфляції ( $IC_{100} = (1 + 0,025)^{100} = 11,81$ )

становить,

$$C_{inv} = 130000 \$;$$

$$C_{energy} = 13000 \cdot 0,1 \cdot (1,025)^{100} = 576371$$

$$C_{utilites} = 1200 \cdot (1,025)^{100} = 532035$$

$$C_{repair} = 130000 \cdot 0,005 \cdot (1,025)^{100} = 288185$$

$$C_{utilization} = 130000 \cdot 0,15 \cdot (1,025)^{100} = 230367$$

$$LCC = 130000 + 576371 + 532035 + 288185 + 230367 = 1756958 \$$$

Коефіцієнт зростання загальних витрат будинку:  $K = \frac{1756958}{130000} = 13,51$

Розрахунки вартості життєвих циклів будинків показують значний економічний ефект (таблиця 3.) від експлуатації будинків класу енергоефективності «А», стандарту Energy + в порівнянні зі звичайними будинками класу енергоефективності «С».

Таблиця 3.

## Порівняльна таблиця вартості життєвого циклу будинків

Показник	Будинок класу А (позитивний енергобаланс)	Будинок класу С (звичайний)
Площа будинку, м <sup>2</sup>	<b>130,0</b>	<b>130,0</b>
Вартість будівництва, тис. \$	<b>165,000</b>	<b>130,000</b>
Питомі енерговитрати, кВт·м <sup>2</sup> /рік	<b>30</b>	<b>100</b>
СЕС, потужність (кВт)	<b>12</b>	-
Генерація енергії тис. (кВт·год/рік)	<b>15,000</b>	-
Власне споживання енергії, тис. кВт·год/рік	<b>3,900</b>	-
Профіцит енергії, тис. кВт·год/рік	<b>11,100</b>	-
Додаткові комунальні платежі, тис. \$/рік	<b>1,200</b>	<b>1,200</b>
Ремонтні витрати, % від вартості	<b>1%</b>	<b>0.5%</b>
Витрати на утилізацію, %	-	<b>15%</b>
Інфляційна ставка (q), %/рік	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>
Коефіцієнт інфляції за 100 років	<b>11.81</b>	<b>11.81</b>
Витрати на ремонти, тис. \$	<b>731,548</b>	<b>288,185</b>
Витрати на енергоспоживання, тис. \$	-	<b>576,371</b>
Витрати на комунальні платежі, тис. \$	<b>532,035</b>	<b>532,035</b>
Витрати на утилізацію, тис. \$	-	<b>230,367</b>
Оновлення обладнання, тис. \$	<b>174,949</b>	-
Доходи від продажу енергії, тис. \$	<b>-738,198</b>	-
Залишкова вартість будинку, тис. \$	<b>1949,263</b>	-
Загальна вартість життєвого циклу (LCC), \$	<b>-1,083,930</b>	<b>1,756,958</b>
Коефіцієнт зростання витрат	-	<b>13.51</b>
Коефіцієнт зростання вартості активів	<b>6.57</b>	<b>13.51</b>

Інтегральна різниця вартості столітнього життєвого циклу будинків з урахуванням інфляції, приведених в прикладах 1;2, складає 2840,888 тис. \$.

Таким чином, врахування вартості життєвого циклу будівлі в складі техніко-економічного обґрунтування впливає на вибір архітектурно-конструктивних варіантів та систем енергозабезпечення будівель і споруд при проектуванні та будівництві.

**Організація будівництва будівель з позитивним енергобалансом.** Основою виконання робіт є відповідність вимогам ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва», що передбачає розробку системи організаційно технічних засобів і підготовчих робіт для забезпечення будівництва об'єкта у відповідності з проектним рішенням, вимогами

законодавства та нормативних документів, а також з узгодженою діяльністю учасників будівництва [15].

Проекти повторного використання є стандартизованими рішеннями, які дозволяють зменшити витрати часу, матеріальних та фінансових ресурсів, забезпечуючи високу якість будівництва. Плани реалізації заходів по спорудженню будинків з позитивним енергетичним балансом (таблиця 4), як основа організаційного етапу будівництва, розробляються за наступними принципами:

- універсальність (адаптації проекту до різних гідро-геологічних умов будівництва).
- стандартизація (уніфікація розмірів, матеріалів, обладнання та технологій).
- серійність (мультиплікативний ефект, зручність масштабування проекту з незначними змінами).

Таблиця 4.

План заходів по організації будівництва будинків з ПЕБ.

Етап виконання плану	Опис заходів реалізації плану
Розробка товарної лінійки будинків	Розробка проектів будинків повторного використання, що враховують демографічні та економічні показники і можуть споруджуватися за різними технологіями робіт. Розробка технологічних карт виконання робіт.
Підготовчий етап	Аналіз земельної ділянки, отримання дозволів. Сертифікація виконавців робіт по спорудженню будинків товарної лінійки. Підготовка будівельного майданчика.
Комплектація	Виготовлення конструктивних елементів, комплектування інженерними мережами, обладнанням та оздоблювальними матеріалами. Інтеграція СЕС, рекуператорів, теплових насосів, системи управління до архітектурно-конструктивного рішення товарної одиниці.
Логістика	Розробка схеми загрузки комплекту в автотранспорт. Оптимізація маршруту доставки модулів до будівельного майданчика, використання стандартних розмірів для транспортування.
Будівельно-монтажні роботи	Виконання БМР. Монтаж обладнання. Рекомендований період будівництва- до 120 календарних днів.
Введення в експлуатацію	Отримання право установчих документів. Проведення 8-ми годинного навчального курсу з власником будинку.
Моніторинг та обслуговування будинку	Розробка системи моніторингу енергоспоживання та генерації, регулярне технічне обслуговування та підтримка замовника. Контроль генерації електроенергії і розрахунків енергоринку з власником будинку.

Обґрунтування та практичне застосування вищезазначених критеріїв впроваджено при розробці лінійки індивідуальних житлових будинків Business House науково-технічним центром Академії будівництва України та ТМ Pereginets Group (рис.2). Ця серія односімейних будинків розроблена з урахуванням діапазону демографічних складових українських домогосподарств та економічного обґрунтування вартості життєвого циклу[16].

В лінійку входять наступні моделі будинків:

1. Business House Start Up: невеликий будинок площею 46,4 м<sup>2</sup>, орієнтований на молоді сім'ї.
2. Business House S: компактний будинок площею 64 м<sup>2</sup> із базовим набором енергоефективних рішень.
3. Business House M: середній за розмірами будинок площею 80 м<sup>2</sup>, оптимальний для сімей із дітьми.
4. Business House L: просторий будинок площею 130 м<sup>2</sup> із повним набором інноваційних технологій.

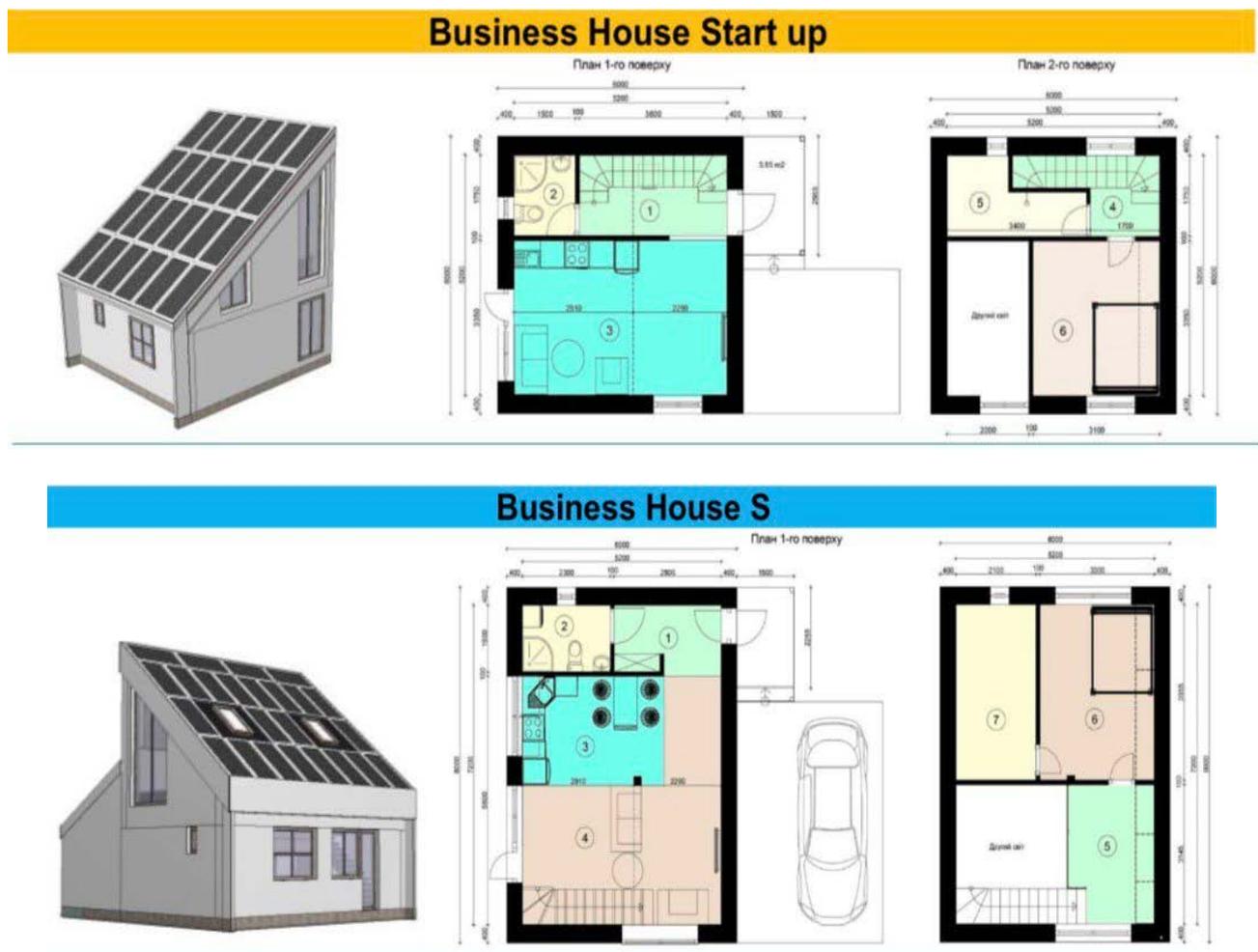


Рис. 2. Товарна лінійка індивідуальних будинків Business House.

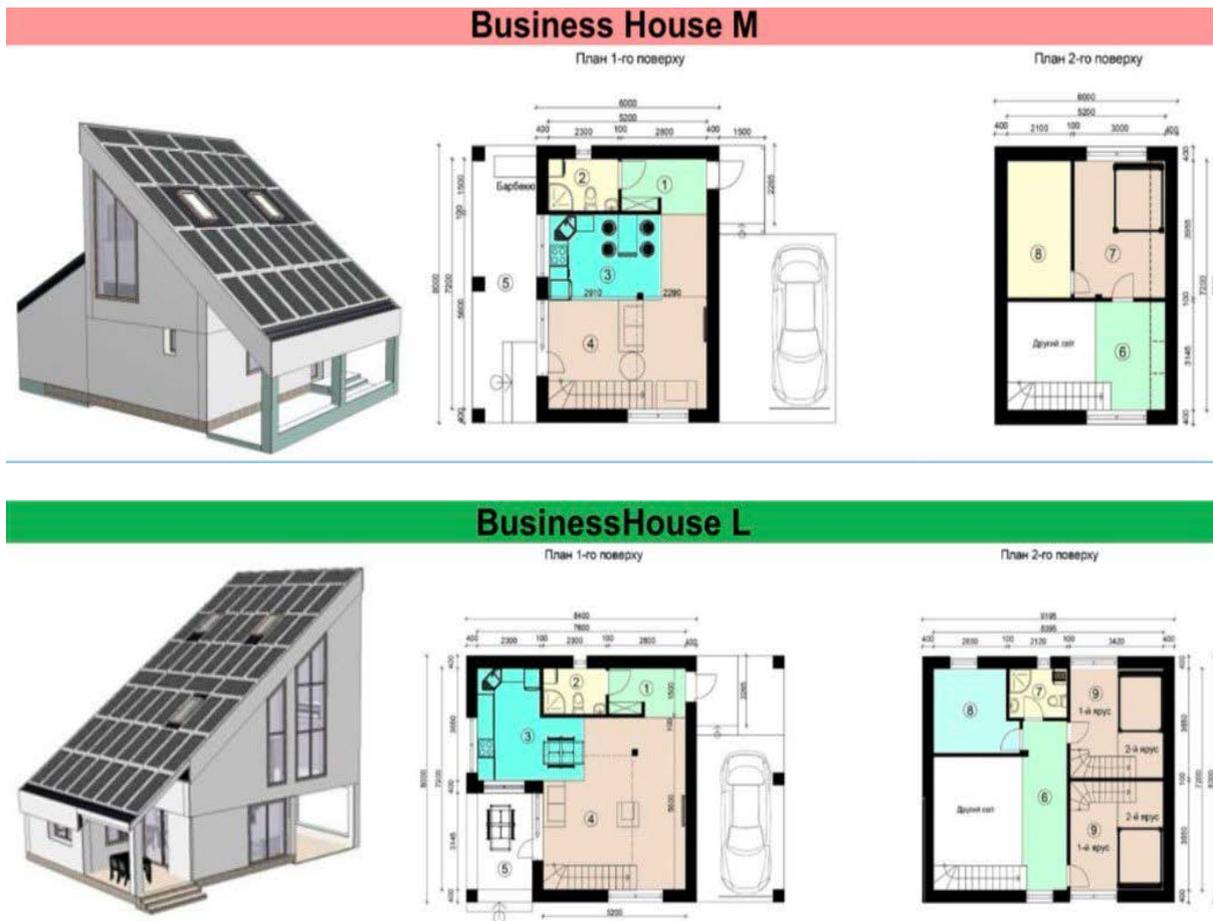


Рис. 2. Товарна лінійка індивідуальних будинків Business House (продовження).

При розробці даної товарної лінійки будинків були враховані моніторингові дані споживання енергії за період 2015-2024 р.р. науково-освітньої лабораторії Академії будівництва України – Optima House (Головний архітектор проекту М.В. Савицький, архітектурна концепція розроблена архітектором О.Кучерявим. Науковий керівник діяльності лабораторії – І.І. Назаренко).

Optima House – перший український енергоефективний будинок, який включений до проектів Міжнародного Альянсу Активного Будинку (м. Брюссель) [17]. (Рис.3.)



Рис. 3. Optima House

## Висновки

### **Ефективність будівель з позитивним енергетичним балансом.**

Дослідження підтвердило, що об'єкти нерухомості з позитивним енергетичним балансом є важливим фактором сталого розвитку, відповідає директивам ЄС з декарбонізації будівель і споруд до 2050 року. Сформульовані визначення понять, розрахунок вартості життєвого циклу та концептуальний план організації будівництва такої категорії нерухомості можуть бути використаними в подальших дослідженнях.

### **Інноваційні технології та інформаційне моделювання.**

Поєднання інноваційних архітектурних та конструктивних рішень, відновлюваних джерел енергії та автоматизованих кліматичних систем дозволяє істотно підвищити ефективність проектування, будівництва та експлуатації будівель. Використання BIM-технологій забезпечує оптимізацію всіх етапів життєвого циклу будівлі та підвищує її економічну ефективність.

### **Критерії та класифікація будинків позитивного енергетичного балансу.**

Розроблені критерії оцінки функціональних та споживчих характеристик, класифікація за рівнем надлишкової енергогенерації сприяють стандартизації підходів до проектування та будівництва енергоефективних споруд, а також дотримання принципів «здорових будівель». Це дозволяє враховувати енергетичні, економічні і людино центричні підходи при комплексній оцінці ефективності будівель різного функціонального призначення.

### **Практичне значення результатів.**

Розвинений асортимент будинків, як товарних одиниць, забезпечує масштабованість і адаптацію до різних умов будівництва.

Стаття демонструє інноваційний підхід до організації будівництва енергоефективних будівель. Отримані результати корисні будівельникам, розробникам, дослідникам, освітянам, студентам, забудовникам, інвесторам, державним та комунальним установам.

## Список літератури

1. Директива 2010/31/ЄС Європейського парламенту та Ради від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель (EPBD). DOI: 10.3000/17252555.L\_2010.153.eng.
2. Директива 2024/1275 ЄС від 24 квітня 2024 року про будівлі з нульовими викидами. DOI: 10.3000/20241275.
3. Стандарт EN 15978: Оцінка екологічних характеристик будівель. DOI: 10.3403/30366660.

4. Фаренюк Є., Фаренюк Г. Методичні основи нового покоління будівельних норм з енергоефективності будівель // Наука та будівництво. 2023. №33-34. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-2>.
5. Директива 2018/2001/ЄС про використання енергії з відновлюваних джерел. DOI: 10.3000/20182001.
6. Бахтін Д. Впровадження енергоефективних технологій при будівництві нової комерційної нерухомості в Україні // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура». 2020. №2 (4). С. 12–18. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/dec/22823/02-bakhtin.pdf> (дата звернення: 03.01.2025).
7. Черепаха, Д.В. Енергозберігаючі заходи на етапі проектування об'єктів житлового комплексу. \*Вісник Вінницького національного технічного університету\*. 2020. №3. С. 54–60. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/2020.pdf>. (дата звернення: 03.01.2025).
8. Деревіцький, В.В., Риндюк, С.В. Світові тенденції в сфері енергоефективних будівель. \*Проблеми енергоефективності будівель\*. 2021. №1. С. 23–30. URL: <https://pems.kpi.ua/proc/article/view/274538>. (дата звернення: 03.01.2025).
9. Ürge-Vorsatz, D., Khosla, R., Bernhardt, R., Chan, Y.C., Verez, D., Hu, S., Cabeza, L.F. (2020). Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, P. 227–269. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045843>.
10. Güneralp, B., Zhou, Y., Ürge-Vorsatz, D., Gupta, M., Yu, S., Patel, P. L., Fragkias, M., Li, X., Seto, K. C. (2017). Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114, 34, 8945–8950. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1606035114>.
11. Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L.F., Serrano, S., Barreneche, C., Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039>.
12. Бутенко О.П., Єрмакова А.О., Бондаренко Ю.С. Використання концепції lean-construction в управлінні будівельними підприємствами // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2016. – № 55. – С. 85–90. Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/312248327\\_VIKORISTANNA\\_KONCEPCII\\_LEAN\\_CONSTRUCTION\\_V\\_UPRAVLINNI\\_BUDIVELNIMI\\_PIDPRIEMSTVAMI](https://www.researchgate.net/publication/312248327_VIKORISTANNA_KONCEPCII_LEAN_CONSTRUCTION_V_UPRAVLINNI_BUDIVELNIMI_PIDPRIEMSTVAMI).

13. Войнаш Л.Г., Дудла І.О., Козьмич Д.І., Павловська Н.В., Приходько М.В. Товарознавство непродовольчих товарів. Частина 1. – К.: НМЦ 'Укоопосвіта', 2004. – 596 с. Режим доступу: <https://kipt.com.ua/wp-content/uploads/2019/10>.
14. Trading Economics. United States Inflation Rate. Available at: <https://tradingeconomics.com/united-states/inflation-срі>.
15. Державні будівельні норми України (2016). ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва;. Доступно за посиланням: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3113373519350597353?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3113373519350597353?doc_type=2).
16. Державна служба статистики України. (2022). Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України. Київ. Доступно за посиланням: [https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/zb/07/sdhd\\_22.pdf](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/07/sdhd_22.pdf).
17. Active House. OptimaHouse in Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.activehouse.info/cases/optimahouse-in-ukraine/>.

**Pereginets Ivan,**

“Scientific and Technical Center of the Academy of Construction of Ukraine”, Kyiv

## **FUNDAMENTALS OF ORGANIZATION OF CONSTRUCTION OF BUILDINGS WITH A POSITIVE ENERGY BALANCE BY THE CRITERIA OF COMMODITY UNITS**

This article presents the results of a study of the principles of organizing construction and life cycle management of residential buildings with a positive energy balance (PEB) based on the criteria of commodity units. Innovative architectural and structural solutions, integration of renewable energy sources and automated climate systems in the construction of such buildings are considered. Special attention is paid to the use of building information modeling BIM (Building Information Modeling) to optimize the design and operation processes of residential buildings. A classification of buildings with a positive energy balance is created, based on the difference in the amount of energy produced and consumed. A formula is developed for estimating the life cycle cost of buildings with a positive energy balance. Calculations of the life cycle cost of buildings with different energy efficiency classes are carried out. It is proved that the concept of energy-saving buildings with a positive energy balance is becoming a necessary component of modern housing construction in the world. Definitions of the concepts of buildings with a positive energy balance and positive energy balance are provided. The criteria for operational and consumer characteristics of real estate objects have been

determined. A conceptual organizational plan for the construction of houses has been developed according to the criteria of commodity units. A product line of individual houses has been developed according to the criteria of commodity units. The comprehensive approach to organizing the construction of energy-efficient houses proposed by the authors of the article complies with the EU Directives on the creation of buildings with zero emissions by 2050 and the principles of healthy housing.

Keywords: organization; technology; energy efficiency; positive energy balance; commodity unit; BIM technologies; microclimate; life cycle cost; renewable energy sources; principles of healthy housing.

## 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). DOI: 10.3000/17252555.L\_2010.153.eng. {in English}.
2. Directive 2024/1275 EU of 24 April 2024 on zero-emission buildings. DOI: 10.3000/20241275. {in English}.
3. Standard EN 15978: Assessment of the environmental performance of buildings. DOI: 10.3403/30366660. {in English}.
4. Farenjuk E., Farenjuk G. Methodological foundations of a new generation of building codes on the energy efficiency of buildings // *Science and Construction*. 2023. No. 33-34. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-2>. {In Ukrainian}.
5. Directive 2018/2001/EU on the use of energy from renewable sources. DOI: 10.3000/20182001. {in English}.
6. Bakhtin D. Implementation of energy-efficient technologies in the construction of new commercial real estate in Ukraine // *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*. Series: "Architecture". 2020. No. 2 (4). P. 12–18. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/dec/22823/02-bakhtin.pdf> (access date: 03.01.2025). {In Ukrainian}.
7. Cherepakha, D.V. Energy-saving measures at the design stage of residential complex facilities. \**Bulletin of Vinnytsia National Technical University*\*. 2020. No. 3. P. 54–60. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/2020.pdf> (access date: 03.01.2025). {In Ukrainian}.
8. Derevitskyi, V.V., Ryndyuk, S.V. World trends in the field of energy-efficient buildings. \**Problems of energy efficiency of buildings*\*. 2021. No. 1. P. 23–30. URL: <https://pems.kpi.ua/proc/article/view/274538> (access date: 03.01.2025). {In Ukrainian}.
9. Ürge-Vorsatz, D., Khosla, R., Bernhardt, R., Chan, Y.C., Vérez, D., Hu, S., Cabeza, L.F. (2020). Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, P. 227–269.

DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045843>. {in English}.

10. Güneralp, B., Zhou, Y., Ürge-Vorsatz, D., Gupta, M., Yu, S., Patel, P.L., Fragkias, M., Li, X., Seto, K.C. (2017). Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114, 34, 8945–8950. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1606035114>. {in English}.

11. Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L.F., Serrano, S., Barreneche, C., Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039>. {in English}.

12. Butenko O.P., Ermakova A.O., Bondarenko Yu.S. Using the lean-construction concept in the management of construction enterprises // *Bulletin of the Economy of Transport and Industry*. – 2016. – No. 55. – P. 85–90. Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/312248327\\_VIKORISTANNA\\_KONCEPCII\\_LEAN\\_CONSTRUCTION\\_V\\_UPRAVLINNI\\_BUDIVELNIMI\\_PIDPRIEMSTVAMI](https://www.researchgate.net/publication/312248327_VIKORISTANNA_KONCEPCII_LEAN_CONSTRUCTION_V_UPRAVLINNI_BUDIVELNIMI_PIDPRIEMSTVAMI). {In Ukrainian}.

13. Voynash L.G., Dudla I.O., Koz'mich D.I., Pavlovska N.V., Prykhodko M. V. *Commodity science of non-food products. Part 1*. – K.: NMC 'Ukooposvita', 2004. – 596 p. Access mode: <https://kipt.com.ua/wp-content/uploads/2019/10>. {in English}.

14. Trading Economics. United States Inflation Rate. Available at: <https://tradingeconomics.com/united-states/inflation-cpi>. {in English}.

15. State Building Standards of Ukraine (2016). DBN A.3.1-5:2016 Organization of construction production;. Available at: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3113373519350597353?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3113373519350597353?doc_type=2). {In Ukrainian}.

16. State Statistics Service of Ukraine. (2022). Socio-demographic characteristics of households in Ukraine. Kyiv. Available at: [https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/zb/07/sdhd\\_22.pdf/](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/07/sdhd_22.pdf/). {In Ukrainian}.

17. Active House. OptimaHouse in Ukraine [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.activehouse.info/cases/optimahouse-in-ukraine/>. {in English}.