УДК 620.9:699.86:728

В. В. Любич

В. Ф. Сидоренко

ВПРОВАДЖЕННЯ ПАСИВНИХ ТА НУЛЬОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНСЬКІЙ ПРАКТИЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розмежовано поняття пасивної будівлі, будівлі з майже нульовим енергоспоживанням, нульовим енергетичним балансом і нульовими експлуатаційними викидами. Запропоновано послідовність переходу від зменшення потреби в енергії до узгодження інженерних систем і локальної генерації. Визначено умови перевірки річного балансу та зимової працездатності, важливі для застосування відповідних підходів в Україні.

Ключові слова: пасивна будівля, нульовий енергетичний баланс, теплова оболонка, рекуперація, енергомоделювання.

Abstract

Passive buildings, nearly zero-energy buildings, net-zero energy buildings and zero-emission buildings are distinguished. A sequence is proposed from reducing energy demand to integrating building services and local generation. The paper identifies verification requirements for annual energy balance and winter operation relevant to Ukrainian construction and renovation practice.

Keywords: passive building, net-zero energy balance, building envelope, heat recovery, energy modelling.

Вступ

Під час обговорення енергоефективного будівництва терміни «пасивна» та «нульова» будівля нерідко використовуються як взаємозамінні. Це ускладнює формування завдання на проєктування й оцінювання результату. Будівля з невеликою потребою в опаленні може залишатися залежною від зовнішнього електропостачання, а річна компенсація споживання сонячною генерацією не гарантує автономності взимку. Мета роботи — визначити послідовність впровадження цих підходів з урахуванням умов української практики.

Результати дослідження

Стандарт Passive House обмежує потребу в енергії та встановлює вимоги до герметичності й інших характеристик будівлі [1]. Критерій питомої річної потреби в опаленні 15 кВт·год/(м²·рік) є одним з орієнтирів цього стандарту; він не охоплює всі види енергоспоживання. Нульовий річний енергетичний баланс, своєю чергою, потребує визначення межі обліку, розрахункового періоду та видів енергії, які компенсуються генерацією.

Окремо слід розглядати zero-emission building у Директиві ЄС 2024/1275. Це поняття поєднує високу енергетичну ефективність з вимогами до експлуатаційних викидів, а не просто рівністю річних кіловат-годин [2]. Європейський документ доцільно використовувати як орієнтир розвитку; застосування його положень не замінює вимог українського законодавства. Для кожного проєкту необхідно чітко зазначати, який саме результат має бути підтверджений.

Пропонується п’ятиетапна послідовність проєктування. Спочатку оптимізуються форма, орієнтація й функціональне зонування. Далі перевіряються теплоізоляція, теплопровідні включення та повітронепроникність. Третій етап охоплює вентиляцію, рекуперацію й захист від перегрівання. Після цього добираються інженерні системи для фактично зменшеного навантаження. Локальну генерацію та накопичення визначають на завершальному етапі, коли вже відомі графіки потреби в енергії.

Для первинного порівняння варіантів використовується питома потреба в енергії на опалення:

$$q_H = \frac{Q_H}{A_f}$$

де QH — річна потреба в енергії на опалення, кВт·год; Af — розрахункова площа, м². Площу слід визначати за обраною методикою й однаково застосовувати до всіх варіантів. Ілюстративно: для площі

1000 м² та потреби 15 000 кВт·год значення qH дорівнює 15 кВт·год/(м²·рік). Цей розрахунок показує лише один показник і не є підтвердженням сертифікації або нульового балансу будівлі.

Баланс нульового енергоспоживання доцільно перевіряти щонайменше на двох часових рівнях. Річний рівень характеризує сумарне виробництво й використання енергії за обраними правилами обліку. Погодинний рівень виявляє зимові дефіцити, літні надлишки та потребу у зовнішній мережі. Внесення батареї до річного балансу без урахування її втрат помилково завищує ефективність. Не можна також прирівнювати всю річну сонячну генерацію до безпосереднього власного споживання [3].

Для реконструкції українських будівель першочерговими є вузли примикання вікон, цоколі, покриття та проходження інженерних комунікацій. Послідовність робіт повинна запобігати ситуації, коли утеплення виконується без узгодженого повітрообміну. До програми перевірки варто включати випробування герметичності, налагодження вентиляції й зіставлення виміряного споживання з моделлю. Відхилення слід аналізувати з поправкою на погоду, заповненість приміщень і режим користування.

Для порівняння варіантів потрібні витрати на енергію, обслуговування та ремонт, а також аналіз поведінки за перерв живлення. Тривалість збереження прийнятної температури визначається динамічним розрахунком з урахуванням тепловтрат, теплоємності, вентиляції та погоди.

Розрахункові сценарії та оцінювання ефективності

Для зіставлення пасивної та нульової будівлі пропонується використовувати дві незалежні площини оцінювання: потребу будівлі в енергетичній послузі та баланс постачання енергії. Перша визначає, скільки теплоти або холоду необхідно за погоджених умов користування. Друга показує, якими джерелами покривається ця потреба і яка частина енергії надходить із зовнішньої мережі. Збільшення сонячної генерації змінює баланс, але саме по собі не підтверджує поліпшення теплової оболонки. У матеріалах проєкту слід зберігати це розмежування від вихідних даних до висновків.

Спрощений річний баланс для одного виду кінцевої енергії можна записати так:

$$B = E_{gen} - E_{use}$$

де B — річний надлишок або дефіцит; Egen — річна генерація в прийнятій межі; Euse — річне використання енергії за тими самими правилами обліку. Нульове значення B характеризує рівність річних сум. Воно не визначає величину імпорту, експорту, установлену потужність джерел або забезпеченість будівлі в окрему годину. Для кількох енергоносіїв потрібне попередньо встановлене правило приведення. Якщо частина потреб покривається теплотою, а інша електроенергією, просте додавання відповідних фізичних величин без пояснення не створює коректного балансу.

Цю відмінність ілюструє умовний поділ року на зимовий та решту періоду. За зимової генерації 4 МВт·год і споживання 15 МВт·год дефіцит становить 11 МВт·год. Для решти року генерація 36 МВт·год і використання 25 МВт·год дають такий самий надлишок. Річні суми дорівнюють 40 МВт·год, але будівля все одно потребує сезонного обміну із зовнішньою системою. Погодинне зіставлення може виявити додаткові взаємні потоки навіть усередині кожного періоду. Наведені числа пояснюють властивість балансу й не є прогнозом генерації для конкретного українського об’єкта.

Показник потреби в опаленні слід розглядати поряд із зимовою піковою потужністю. Два варіанти з близькою річною потребою можуть мати різні короткочасні навантаження через режими вентиляції, прогрівання та користування. Для навчальних або громадських будівель потрібно окремо перевіряти початок робочого дня після перерви. Зменшення встановленої потужності системи допустиме лише після перевірки її здатності забезпечити погоджений режим. Підміна цього розрахунку відношенням річної енергії до загальної кількості годин року приховує нерівномірність навантаження.

Для літнього режиму поряд із кількістю годин перегрівання доцільно оцінювати величину перевищення температури. Один із прозорих допоміжних показників — накопичені градусо-години:

$$D_{cool} = \sum_{t=1}^{N} \theta_t \, \Delta t$$

де θt — перевищення внутрішньої температури Tt над погодженою межею Tlim в інтервалі t; за Tt ≤ Tlim приймається θt = 0; Δt — тривалість інтервалу; N — кількість інтервалів. Величина Dcool вимірюється у К·год. Вона враховує як тривалість, так і інтенсивність перевищення, але не замінює повного оцінювання теплового комфорту. Значення Tlim має бути визначене завданням і

застосованими вимогами до конкретного приміщення. Його не слід довільно змінювати між сценаріями для отримання бажаного результату.

Для демонстрації обчислення візьмемо чотири годинні температури 28, 29, 27 і 26 °C та умовну межу 27 °C. Тоді Dcool становить 3 К·год, а число годин із перевищенням — дві. Якщо інший варіант має температури 28, 28, 28 і 26 °C, сумарне перевищення також дорівнює 3 К·год, проте його тривалість становить три години. Приклад показує необхідність подавати обидва результати. Обрана температура використана лише для пояснення алгоритму й не встановлює нормативної межі для всіх будівель або видів приміщень.

Довготривалі перерви електропостачання слід перевіряти окремим сценарієм із визначеними початковою температурою, погодою та режимом вентиляції. Час збереження прийнятного стану залежить від теплоємності, тепловтрат і фактичного користування. Результат доцільно наводити як часову криву температури та момент досягнення погодженої межі. Низька річна потреба в енергії не дозволяє без такого розрахунку заявляти певну кількість годин автономності. Для об’єктів із критичними функціями додатково перевіряється живлення вентиляції, автоматики та інших необхідних інженерних систем.

Підсумкове порівняння пакетів заходів пропонується виконувати за однаковим кліматичним файлом, площею, зайнятістю та температурними завданнями. У результатах окремо подаються потреба в опаленні, енергія охолодження, годинні максимуми, мережеві потоки й літні показники. Лише після цього доцільно зіставляти капітальні витрати та вартість обслуговування. Така форма дозволяє замовнику бачити, якою частиною результату забезпечено поліпшення самої будівлі, а якою — збільшення джерел енергії. Вона також створює основу для перевірки проєктної моделі після введення об’єкта в експлуатацію.

Практична реалізація та перевірка результатів

Для практичного впровадження пропонується починати з формалізації завдання замовника. У ньому слід розділити очікуване скорочення потреби в опаленні, загальне експлуатаційне енергоспоживання, власну генерацію та готовність будівлі до перерв живлення. Кожній цілі призначаються показник, межа обліку й спосіб підтвердження. Це дозволяє уникнути ситуації, коли низька витрата одного енергоносія використовується як доказ досягнення всіх характеристик пасивної або нульової будівлі. Показники мають перевірятися для фактичного призначення об’єкта та погодженого режиму його використання.

Порівняння проєктних рішень доцільно проводити пакетами заходів. Перший пакет охоплює форму, орієнтацію й зонування; другий — утеплення та вузли оболонки; третій — вентиляцію, сонцезахист і керування; четвертий — джерела енергії та накопичення. Для кожного кроку визначаються зміни потреби в енергії, пікової потужності та інвестицій. Така послідовність дає змогу побачити, які рішення зменшують навантаження на наступні системи, а які лише компенсують його. Пакети слід зіставляти за однакових умов внутрішнього середовища, площі та тривалості користування будівлею.

Під час аналізу теплової оболонки недостатньо враховувати лише опір теплопередачі її плоских ділянок. У розрахунковій моделі потрібно окремо відобразити стики конструкцій, примикання вікон, балконні елементи та місця проходження комунікацій. Для реконструкції ці вузли доцільно пов’язати з обстеженням фактичного стану. Очікуваний результат має перевірятися після виконання робіт, оскільки проєктні характеристики матеріалів не підтверджують автоматично якість монтажу. До приймання слід включати контроль безперервності теплоізоляції та передбачених герметичних шарів.

Літній режим потребує самостійної оцінки. Зменшення зимових тепловтрат не є достатньою умовою комфортної експлуатації в період високої сонячної радіації. У сценаріях необхідно змінювати орієнтацію скління, параметри зовнішнього сонцезахисту, графіки внутрішніх теплонадходжень і можливості нічного охолодження. Результат слід подавати через години виходу за прийнятий температурний діапазон та енергію охолодження. Використання однакового кліматичного файлу й розкладу зайнятості дає змогу відокремити ефект оболонки від відмінностей у вихідних припущеннях.

Нульовий річний баланс пропонується доповнювати оцінкою збігу генерації зі споживанням. Для цього розраховуються пряме власне використання, імпорт, експорт і потоки через накопичувач. Зимовий дефіцит та літній надлишок наводяться окремо, навіть коли їхні річні суми взаємно компенсуються. Для будівлі з кількома енергоносіями необхідно заздалегідь визначити, чи баланс складається за кінцевою або первинною енергією. Коефіцієнти перерахунку мають бути

задокументовані й однакові для всіх варіантів. Змішування цих підходів робить підсумкові значення непорівнянними.

Експлуатаційне підтвердження результату слід планувати одночасно з проєктуванням. До програми моніторингу доцільно включити окремий облік опалення, охолодження, вентиляції та електропостачання, а також контроль температури й режимів роботи. Виміряні дані порівнюються з моделлю після приведення до погодних умов і фактичної зайнятості. Відхилення можуть бути пов’язані з налаштуванням систем, монтажем або поведінкою користувачів; ці причини слід розділяти. Сам факт перевищення прогнозу не дозволяє без додаткової перевірки визначити, який елемент проєкту виявився неефективним.

Для муніципальних об’єктів доцільно передбачити поетапне фінансування з контрольними точками після обстеження, розроблення моделі та введення систем в експлуатацію. Обґрунтування повинно показувати не тільки економію енергії, а й можливість обслуговування обладнання наявним персоналом. Перевагу варто надавати рішенням, для яких доступні вимірювання, налаштування та ремонт. Саме поєднання перевірюваної енергетичної мети, належної якості оболонки й контрольованої експлуатації створює основу для перенесення підходів пасивного та нульового будівництва в українську практику.

Висновки

Впровадження пасивних і нульових енергетичних будівель в Україні потребує насамперед чітких критеріїв результату. Пріоритетом є зменшення енергетичної потреби, після якого обґрунтовуються інженерні системи й генерація. Річний баланс необхідно доповнювати погодинною перевіркою та контролем мікроклімату. Такий підхід дає змогу уникнути підміни енергоефективності встановленою потужністю обладнання та забезпечує перевірюваність проєктних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Passive House Institute. Criteria for Buildings: Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building. Офіційні критерії та матеріали сертифікації. URL: https://passivehouse.com/en/home/building-certification/ (дата звернення: 15.10.2026).

2. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/eng (дата звернення: 15.10.2026).

3. IEA PVPS. A Methodology for the Analysis of PV Self-Consumption Policies. Report IEA-PVPS T1-28:2016. 2016. URL: https://iea-pvps.org/key-topics/iea-pvps-a-methodology-for-the-analysis-of-pv-self-consumption-policies-2016/ (дата звернення: 15.10.2026).

Любич Володимир Володимирович — аспірант, асистент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com

Сидоренко Владислава Федорівна — студентка кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: sydorenko.vladyslavaa@gmail.com

Liubych Volodymyr Volodymyrovych — PhD student, Assistant at the Department of Industrial and Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com

Vladyslava Fedorivna Sydorenko — student in the Department of Industrial and Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sydorenko.vladyslavaa@gmail.com