

ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В БУДІВЛЯХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто роль цифрових моделей у підвищенні енергоефективності будівель на етапах проектування, аналізу та експлуатації. Показано, що застосування BIM-технологій і спеціалізованого програмного забезпечення (Revit + Insight, DesignBuilder, IDA ICE, EnergyPlus) дозволяє точно моделювати енергетичну поведінку будівель, враховуючи численні фактори: кліматичні умови, архітектурні та конструктивні параметри, режими експлуатації, поведінку користувачів. Наведено критерії оцінювання ефективності цифрових енергомоделей: точність розрахунків, порівняння варіантів, візуалізація, інтеграція в проектний процес і відповідність нормативам. Описано ключові групи параметрів, що враховуються при побудові моделей, та наведено нормативно-правову базу, що регламентує застосування таких інструментів в Україні. Зроблено висновок, що цифрове моделювання енергоспоживання є важливим інструментом для прийняття обґрунтованих технічних рішень та досягнення цілей сталого розвитку в будівництві.

Ключові слова: цифрове моделювання, енергоспоживання, BIM-технології, енергоефективність, будівля, кліматичні умови, конструктивні рішення, програмне забезпечення, енергетичний аналіз, нормативні документи.

Abstract

The role of digital models in improving the energy efficiency of buildings at the design, analysis and operation stages is considered. It is shown that the use of BIM technologies and specialized software (Revit + Insight, DesignBuilder, IDA ICE, EnergyPlus) allows for accurate modeling of the energy behavior of buildings, taking into account numerous factors: climatic conditions, architectural and structural parameters, operating modes, and user behavior. Criteria for assessing the effectiveness of digital energy models are presented: accuracy of calculations, comparison of options, visualization, integration into the design process, and compliance with standards. The key groups of parameters taken into account when building models are described, and the regulatory framework regulating the use of such tools in Ukraine is presented. It is concluded that digital modeling of energy consumption is an important tool for making informed technical decisions and achieving sustainable development goals in construction.

Keywords: digital modeling, energy consumption, BIM technologies, energy efficiency, building, climatic conditions, design solutions, software, energy analysis, regulatory documents.

Вступ

У сучасному будівництві питання підвищення енергоефективності будівель є одним із ключових пріоритетів сталого розвитку. Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА), на будівлі припадає близько 30–40% загального енергоспоживання у світі [1]. У зв'язку з цим, ефективне планування, проектування й експлуатація будівель неможливі без використання цифрових інструментів для аналізу їхнього енергетичного балансу.

Сучасні цифрові моделі дозволяють здійснювати комплексний аналіз енергоспоживання ще на етапі проектування, враховуючи як геометричні, так і фізико-технічні характеристики будівлі. У цьому контексті особливого значення набувають технології інформаційного моделювання будівель (BIM), які забезпечують інтеграцію архітектурних, інженерних і енергетичних даних в єдиному середовищі [2]. Застосування цифрових моделей дає змогу приймати обґрунтовані рішення щодо конструктивних рішень, матеріалів і систем забезпечення мікроклімату.

Результати дослідження

У контексті підвищення енергоефективності будівель цифрові моделі виступають дієвим інструментом для кількісного та якісного аналізу енергоспоживання. На відміну від традиційних методів, що базуються на спрощених розрахунках тепловтрат, цифрове моделювання дозволяє враховувати широкий спектр чинників: геометрію будівлі, кліматичні умови, матеріальні

характеристики огорожувальних конструкцій, режими експлуатації приміщень, а також поведінкові сценарії користувачів. Оцінка ефективності цифрових моделей здійснюється за кількома критеріями [1, 2, 3, 9, 10, 14]:

1. Точність розрахунків.

Моделі, створені в середовищі BIM або на основі динамічних симуляцій (наприклад, у DesignBuilder, IDA ICE чи EnergyPlus), забезпечують значно точніше прогнозування річного енергоспоживання. Зокрема, використання модуля Insight в Revit дозволяє отримати показники кінцевого енергоспоживання з точністю до 5–10% при правильному налаштуванні вхідних параметрів.

2. Можливість порівняння варіантів.

Цифрове середовище дозволяє швидко створювати варіанти архітектурно-конструктивних та інженерних рішень і порівнювати їх за енергетичними показниками. Наприклад, при моделюванні трьох варіантів утеплення фасаду різної товщини спостерігалось зниження річного споживання теплової енергії на 12–28%, залежно від опору теплопередачі стін.

3. Візуалізація та інтерпретація результатів.

Інструменти енергомодельовання візуалізують теплові потоки, мікроклімат у приміщеннях, зони перегріву чи переохолодження. Це полегшує розуміння енергетичних характеристик будівлі не лише для інженерів, але й для замовників, архітекторів та енергоаудиторів.

4. Інтеграція з проектним процесом.

Завдяки інтеграції в BIM-середовище цифрові моделі стають частиною єдиного інформаційного простору проєкту. Усі зміни в геометрії, матеріалах чи інженерних системах автоматично враховуються в енергомоделі, що мінімізує помилки та підвищує ефективність проєктування.

5. Підтримка стандартів енергоаудиту.

Цифрові моделі дозволяють проводити аналіз відповідно до сучасних міжнародних (LEED, BREEAM, ISO 52000) та національних (ДСТУ) стандартів, що спрощує сертифікацію об'єктів.

Цифрове моделювання енергоспоживання є фундаментальною складовою сучасного проєктування та управління будівлями. Його застосування охоплює як нове будівництво, так і реконструкцію наявного фонду. Для реалізації такої задачі використовується спеціалізоване програмне забезпечення, здатне формувати тривимірні інформаційні моделі будівель і здійснювати багатофакторний аналіз енерговитрат протягом усього життєвого циклу об'єкта.

Ці програмні комплекси функціонують на основі вбудованих фізико-математичних моделей, що відображають теплофізичні властивості матеріалів, поведінку систем опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК), вплив сонячної радіації та мікроклімату. Вони забезпечують зміну вхідних параметрів у реальному часі, порівняння альтернативних технічних рішень, визначення зон тепловтрат, перегріву, надмірної вологості тощо.

Однією з основних переваг цифрового підходу є комплексність: моделі дозволяють не лише відображати геометрію об'єкта, але й включати чисельні дані про огорожувальні конструкції, інженерні мережі, матеріали, характеристики обладнання. Завдяки цьому можна проводити динамічне енергетичне моделювання з урахуванням сезонності, орієнтації будівлі, режимів експлуатації приміщень, а також сценаріїв поведінки користувачів.

Ключові групи факторів, що враховуються при побудові цифрової енергомоделі [4–8, 11, 12, 13]:

1. Кліматичні чинники: зовнішня температура повітря (середньодобова, мінімальна, максимальна); вологість, швидкість вітру, хмарність; інсоляція, інтенсивність сонячного випромінювання. Джерелом цих даних є кліматичні зони, згідно з нормативами України, зокрема ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.

2. Архітектурні параметри: площа, об'єм та форма будівлі; орієнтація по сторонах світу; конфігурація фасадів і даху; площа скління та коефіцієнти світлопропускання. Ці характеристики впливають на тепловтрати через огорожувальні конструкції, на ефективність природного освітлення й пасивного сонячного опалення.

3. Конструктивно-технічні характеристики: теплопровідність і товщина матеріалів стін, покрівлі, підлоги; термічний опір огорожувальних конструкцій (R), що має відповідати вимогам ДБН В.2.6-31:2021; типи вікон і дверей, наявність теплових мостів; системи ОВК, їх енергоефективність, коефіцієнт продуктивності (COP).

4. Експлуатаційні параметри: графік перебування людей у приміщеннях; теплові надходження від обладнання та освітлення; внутрішні теплові навантаження; режим вентиляції (механічна/природна) та рекуперація. Ці чинники є критично важливими для визначення потреб у опаленні, охолодженні, вентиляції, гарячому водопостачанні.

Нормативно-правові акти, що регламентують застосування цифрових енергомоделей в Україні:

1. ДБН В.2.6-31:2021 – визначає нормативні значення теплотехнічних характеристик будівельних огорожень;
2. ДСТУ Б EN ISO 13790:2013 – описує методи обчислення енергоспоживання для опалення та охолодження;
3. ДСТУ ISO 52000-1:2022 – вводить принципи загальної енергетичної ефективності будівель (нерічне енергоспоживання, викиди, поновлювані джерела);
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 – регламентує побудову енергетичної моделі для сертифікації будівель;
5. ДБН В.2.5-67:2013 – встановлює вимоги до систем вентиляції, кондиціонування та мікроклімату.

Узагальнюючи, цифрові моделі для аналізу енергоспоживання забезпечують системний підхід до оцінки енергоефективності будівлі. Вони дозволяють з точністю змодельовати реальні теплові процеси, виявити критичні втрати, оптимізувати архітектурно-конструктивні рішення та розробити стратегії зниження енерговитрат. Усе це дає змогу будівельній галузі відповідати сучасним викликам кліматичної стабільності, нормативного регулювання та економічної доцільності.

Revit+Insight, DesignBuilder, IDA ICE та EnergyPlus використовуються для побудови цифрових моделей будівель та проведення енергетичного аналізу. Усі ці програми застосовують спільні принципи, але реалізують їх по-різному — відповідно до своїх функцій і рівня деталізації. В таблиці 1 наведено порівняльну характеристику кожного із запропонованих продуктів програмного забезпечення.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика ПЗ

ПЗ	Рівень деталізації	Модель будівлі	Аналіз	Найкраще підходить для
Revit + Insight	середній	BIM	хмарний, інтерактивний	швидкий концептуальний аналіз
DesignBuilder	високий	3D зона/об'єм	динамічний, фізичний	точне порівняння варіантів
IDA ICE	дуже високий	зона + мікроклімат	динамічний, комфорт	глибокий аналіз комфорту
EnergyPlus	високий (ядро)	через оболонки	повнофункціональний	наукові моделі, сертифікація

Висновки

У ході дослідження було підтверджено, що впровадження цифрових моделей для аналізу енергоспоживання будівель є ефективним та необхідним інструментом сучасного проектування. Вони забезпечують комплексний і точний аналіз теплових процесів з урахуванням різноманітних факторів, що впливають на енергоефективність, включаючи кліматичні умови, конструктивні особливості будівель та поведінку користувачів. Інтеграція цифрового моделювання у BIM-середовище дозволяє оптимізувати проєктні рішення, підвищити якість і точність прогнозування енергоспоживання, а також відповідати сучасним нормативним вимогам і міжнародним стандартам сертифікації. Застосування програмних продуктів Revit+Insight, DesignBuilder, IDA ICE та EnergyPlus дає змогу реалізувати різний рівень деталізації та глибини аналізу, що робить цифрове моделювання універсальним інструментом як для концептуального проєктування, так і для наукових досліджень. Таким чином, цифрові технології є ключем до сталого розвитку будівельної галузі, зменшення енергетичних витрат і зниження негативного впливу на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>
2. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. Wiley, 2018.
3. Суслов О.Ю., Кисіль С.А. Цифрове моделювання в енергоефективному будівництві. // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2021. – №3(27). – С. 55–61.
4. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.
5. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція, кондиціонування.

6. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання.
7. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України № 2118-VIII, ред. від 15.11.2024. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.
8. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. №260. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.
9. Шовкалюк М.М., Рабенко Є.О. Енергетичне обстеження житлової багатоквартирної будівлі з розробкою енергетичного сертифікату // Збірник наук. праць VII науково-технічної конференції магістрантів імені професора В.М. Винославського, [20 – 22 листопада 2024 р.], с. 41-44.
10. Рабенко Є.О., Шовкалюк М.М., Моделювання показників енергоспоживання багатоквартирної будівлі з використанням спеціалізованих програмних продуктів // Збірник наук. праць X Міжнародної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'24», [Київ, 26-27 листопада 2024 р.], с.170-172.
11. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження, Модуль М3-3 (EN 12831-1:2017, IDT).
12. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. №169. Офіційний вісник України. 2018, № 55. С. 301.
13. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 172. Офіційний вісник України. 2018, № 55. С. 334.
14. Шовкалюк М. М., Пахунова К. Ю., Шевченко О. М. Аналіз енергетичних характеристик житлової багатоквартирної будівлі із урахуванням соціально-експлуатаційних факторів. Технології та інжиніринг, № 6 (11), 2022 с. 52-62.

Панкевич Ольга Дмитрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, email: pankevich@vntu.edu.ua.

Коломієць Максим Олександрович – студент групи СМ-21б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: kolommax2004@gmail.com.

Pankevych Olha – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, email: pankevich@vntu.edu.ua.

Kolomiets Maksym – student group SM-21b of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: kolommax2004@gmail.com.