

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ В КОНТЕКСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконано загальний огляд методів оцінки енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель за допомогою прикладних пакетів EcoDEsigner STAR програмного комплексу «ARCHICAD» з комбінуванням оцінки життєвого циклу. Запропоновано їх сумісне використання для концептуальної оцінки енергоефективності на стадії порівняння проектних пропозицій.

Ключові слова: оцінка класу енергоефективності, ВЕМ моделювання, енергетичні показники, життєвий цикл будівлі.

Abstract

A general overview of energy efficiency assessment methods of building enclosing structures using the EcoDEsigner STAR application packages of the "ARCHICAD" software complex with a combination of life cycle assessment tools was performed. Their combined use for the conceptual assessment of energy efficiency at the stage of comparing project proposals is proposed.

Keywords: energy efficiency assessment, BEM modeling, multicriteria, energy performance, life cycle assessment.

Вступ

При проектуванні енергоефективних будівель широко використовуються ВІМ-технології для підвищення якості та удосконалення розрахунків, що потім забезпечує довговічність та надійність, а також зниження витрат на експлуатацію.

Термін «ВІМ» з'явився в лексиконі спеціалістів порівняно недавно, хоча сама концепція комп'ютерного моделювання з максимальним врахуванням усієї інформації про об'єкт почала формуватися та набувати конкретних обрисів набагато раніше. З кінця ХХ ст. такий підхід в проектування поступово формувався всередині активно розвиваючих CAD-технологій [3].

ВІМ (Building Information Modeling чи Building Information Model, будівельна інформаційна модель) – процес генерації та управління даними про будівлю, чи іншої будівельної конструкції, протягом його життєвого циклу.

Розглянувши та узагальнивши методи розрахунку енергоефективності можна зробити висновок, що до сьогодення немає використання методик ВІМ-технологій як єдиної цілісної та комплексної системи. Створення такої системи дасть можливість забезпечити надійність та довговічність будівель та споруд і знизити витрати на опалення, вентиляцію. Реалізація сучасних вимог скорочення термінів і вартості проектування, оптимізація проектних рішень на основі досвіду при проектуванні нових будівель і споруд, забезпечення необхідною інформаційною підтримкою інвестиційного проекту впродовж всього його життєвого циклу неможливі без застосування спеціальних ВІМ-технологій в проектуванні будівельних об'єктів [4].

Сьогодні енергозбереження є світовою науковою проблемою. Дослідження проводились і проводяться по багатьох напрямках. Проектуванню енергоефективних будинків присвячені роботи М.М. Бродач, А.Н. Дмитрієва, Т.А. Маркуса, Е.Н. Моррिसа, В.Л. Мартинова, Т.О. Кащенко, М.П. Селіванова, Ю.А. Табунщикова, Н.В. Шилкіна [5].

В методах моделювання теплого режиму будинків цих авторів переважає системний підхід, за якого будинок розглядається як єдина система, що складається із взаємозалежних елементів. У роботах О.В. Сергійчука розроблені методи оптимізації форми енергоефективних будинків та їх окремих елементів засобами прикладної та обчислювальної геометрії на основі моделювання і аналізу фізико-технічних процесів, що відбуваються в огорожувальних конструкціях і середовищах [6].

Результати дослідження

Задача проектування енергоефективних будівель – можливість отримання в результаті проектування будови, в якій досягнуто мінімального впливу зовнішнього середовища на будинок; будови, що характеризується компактністю забудови, захищеної від несприятливих природних явищ зі сприятливою орієнтацією.

Задачею проектування окремого об'єкта є створення будинку, що характеризується максимальним накопиченням тепла всередині, компактністю форми, оптимальною орієнтацією за сторонами світу, диференціацією скління, пасивним та активним використанням сонячної енергії, можливістю сезонної трансформації енергонакопичувальних елементів будинку, температурним зонуванням будинку.

Основними факторами впливу на енергоефективність будівлі є сонячна радіація, температура і вологість повітря, використання поновлювальних джерел енергії. Безпосередньо впливають на енергоефективність будинків нормативні та технологічні вимоги до інсоляції, природного освітлення, акустики, шумозахисту, аерації тощо. Зовнішній клімат, тепло землі, водні ресурси, біомаса і т.д. є джерелами енергії, тому слід передбачити можливість їх використання за допомогою теплових насосів, сонячних колекторів, енергетичних устаткувань і т.д. (рис. 1.1).

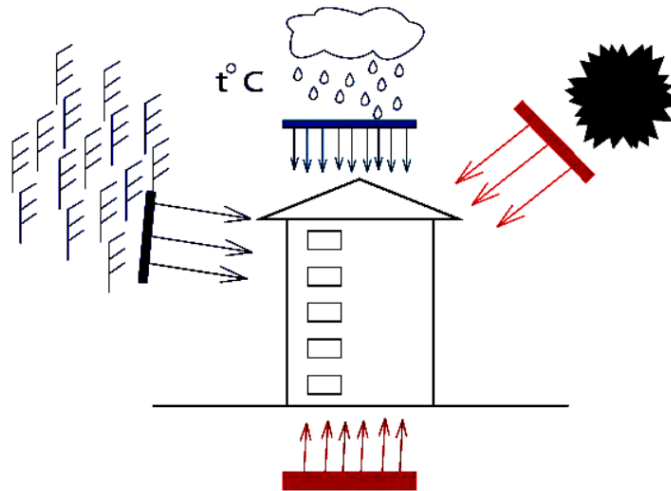


Рис.1.1 – Схематичне зображення зовнішнього впливу клімату на будівлю

У світовій практиці добре відомі приклади (концертний зал імені Уолта Діснея в Лос-Анджелесі, хмарочос One Island East в Гонконзі, Олімпійські об'єкти в Пекіні та інші), коли комплексне або навіть часткове використання технології інформаційного моделювання будівель приводило до підвищення класу енергоефективності будівлі, скорочення термінів проектування і будівництва та зменшення витрат на експлуатацію [7].

В наш час на пострадянському просторі, та в Україні зокрема, не спостерігається масове впровадження BIM-технологій. Якщо бути точнішим, освоєння інформаційного моделювання будівель відбувається, але дуже поволі і епізодично, носить, в основному, опосередкований характер і ніяк не стимулюється зі сторони держави [8].

Країни-члени ЄС постійно посилюють вимоги щодо стандартів енергоспоживання нових будівель, а тому особливу увагу приділяють проектуванню огорожувальних конструкцій.

Заходи з енергозбереження направлені не тільки на зменшення споживання енергії будівлею, а і на зменшення її надходження з зовнішніх теплових та електричних мереж за рахунок підвищення теплоізоляції зовнішніх огорожувальних конструкцій, теплоізоляції, рекуперації та виробітку альтернативних джерел енергії (сонячних батарей, вітрогенераторів, насосів, колекторів).

Сьогодні в ЄС не дозволяється будівництво об'єктів, які споживають понад 60 кВт·год/м² на рік (стандарт «будинок низького споживання енергії»). З 2019 р. максимально допустиме питоме енергоспоживання будівлі складатиме до 15 кВт·год/м² на рік (стандарт «пасивний будинок»).

З 2020 р. має розпочатися масовий перехід до зведення будинків з «нульовим» енергоспоживанням. У перспективі – будівлі, що вироблятимуть більше енергії, ніж споживатимуть (стандарт – «будинок енергія плюс»).

У паспорті кожної європейської будови вказується якому стандарту енергоспоживання вона відповідає. В Австрії, у Німеччині, Бельгії, Греції та Іспанії розрахунки енергоефективності будівель повинні виконувати лише експерти, які мають відповідну ліцензію.

У Данії, Португалії, Швеції та Ірландії результати розрахунків представляються у вигляді річного обсягу споживання будівлею кінцевої енергії. У Німеччині, Франції, Голландії, Греції – у вигляді річного обсягу споживання первинної енергії.

В Іспанії та у Фінляндії – у вигляді коефіцієнта теплопередачі окремих елементів огорожувальної конструкції будівлі. У Норвегії, результати розрахунків представляються у вигляді споживання енергії і коефіцієнтів теплопередачі. Стандарти енергоефективності будівель поступово посилюються та супроводжуються вимогами щодо контролю з відповідними штрафними санкціями за недотримання нормативів.

У Німеччині енергозберігаючі будинки – це будівлі, які відповідають стандарту енергозбереження, тобто мають річне споживання енергії від 30 до 70 кВт·год/м². Річне споживання енергії «пасивного» будинку не має перевищувати 15 кВт·год/м² за національним стандартом.

Найпоширеніші на даний момент типи енергозберігаючих будинків у цій країні – це ефективні будинки за стандартом KfW-55 і 56 KfW-70. Абревіатура «KfW» походить від назви державного банку «Kreditanstalt für Wiederaufbau» – кредитна організація програм реконструкції [9].

Цифра 55 в назві стандарту означає, що максимально допустиме значення річного споживання первинної енергії і втрат тепла при теплопередачі такого будинку становлять лише 55% від мінімальних показників, встановлених актуальним національним розпорядженням про енергозбереження. Крім того, річне споживання первинної енергії такого будинку не повинно перевищувати 40 кВт·год/м² корисної площі будівлі.

У Швейцарії енергозберігаючим вважається будинок побудований за стандартом MINERGIE-P. Такий стандарт передбачає розрахунковий показник потреби енергії для опалення, гарячого водопостачання та вентиляції у розмірі 38 кВт·год/м² на рік, споживання первинної енергії на рівні не більше 90% від діючих в країні нормативних мінімальних показників, а також обов'язкове використання контрольованої вентиляції з рекуперацією тепла [10].

У Франції з 2012 р. діє стандарт на будівництво «пасивних» нових будівель, а з 2020 р. – будівель «енергія плюс», які вироблятимуть більше енергії, ніж споживатимуть. У Франції власників нових енергоефективних будівель звільнено від сплати податку на майно протягом 5 – 10 років. В Ірландії стандарт «пасивних» будинків для нового будівництва введено у 2013 р., у Фінляндії – у 2015 р. У Данії діє вимога щодо зниження питомих витрат енергії в нових будівлях до 2020 р. на 75 %. Зокрема, в Україні нормативно-правових актів щодо показників «пасивного» будинку не передбачено, але при цьому умовно прийнято вважати будинок «пасивним» енергоспоживання якого не перевищує 40 кВт·год/м², при тому, що звичайні будинки в країні сьогодні в середньому споживають не менше 120 кВт·год/м² (у середньому 150 – 260 кВт·год/м²). Вартість будівель з низьким енергоспоживанням буде більш раціональною порівняно з вартістю будівлі з високим енергоспоживанням.

В Європі при будівництві енергозберігаючого будинку витрати зростають лише на 5% і вони окупаються вже в перші 7 – 10 років експлуатації. Разом з тим проектні характеристики будинків з низьким енергоспоживанням допускають додаткові первинні інвестиції, з послідуєчим відшкодуванням через значне зниження рахунків за комунальні послуги, що видно с наступної діаграми (рис. 1.2), на прикладі розрахунків проведених у Нідерландах [11].



Рис. 1.2 – Експлуатаційні витрати будинку

Як продемонстровано на наступних діаграмах, у цілому, нормативна база щодо термоізоляції, діюча сьогодні в країнах ЄС, має значний потенціал для подальшого удосконалення при роботі в напрямку оптимізації енергетичних витрат.

Порівняння щорічного використання первинної енергії для опалення приміщень відповідно до виду будинку по ряду країн опрацьовано в рамках проекту «Passiv-Op» і представлено в економічному аналізі «Огляд комфортабельних будинків з низьким енергоспоживанням» наведено на діаграмі (рис. 1.3). [8].

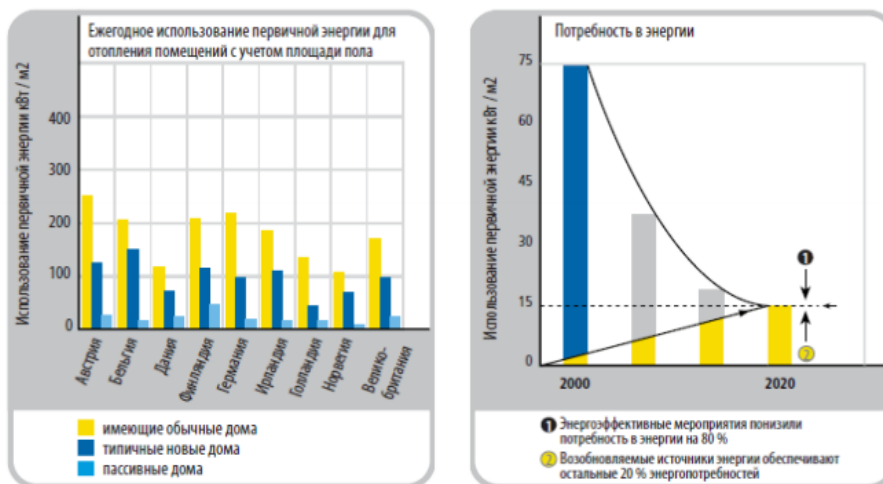


Рис. 1.3 – Огляд комфортабельних будинків з низьким енергоспоживанням

На сьогоднішній день в Україні відсутня практика розрахунку енергоефективності будівель та конкретних огорожувальних конструкцій. Державні будівельні норми потребують значних змін та удосконалень. Як показує досвід країн ЄС, використання програм, які реалізують технологію ВІМ, є найбільш оптимальним шляхом щодо подальшого визначення енергоефективності будівлі.

Зокрема, використання ВІМ-технологій у покращенні енергоефективності дозволяє досягти наступного:

- моделювання геометрії ВІМ-об'єкта будівництва та його теплотехнічних властивостей;
- імітація мостів холоду;
- встановити розширені параметри і налаштування інженерних систем будівель;
- дослідити локальні джерела відновлюваної енергії;
- провести оцінку енергоефективності для будь-якого клімату і географічного положення;
- забезпечити підтримку безлічі термоблоків при розрахунках енергетичного балансу;
- вивести деталізовані звіти оцінки енергоефективності;
- можливість оперування порівняльним методом вигід та витрат.
- оцінити «життєвий цикл будівлі»

Сучасні програмні продукти дозволяють визначити енергоефективність майбутньої будівлі шляхом побудови BIM-моделі. Будівля містить усі інженерно-геологічні, кліматичні дані, а також інформацію щодо виду опалення, вентиляції, функціонального призначення, тощо. Отримана інформація дозволяє з точністю оцінити витрати на експлуатацію майбутньої будівлі, а також уникнути зайвих тепловтрат. Володіючи цими даними, проектувальник може прийняти найбільш оптимальні рішення щодо виду огорожувальних конструкцій та утеплювача.

Визначення терміну енергетичного моделювання будівель (*Building Energy Modeling, BEM*) у різних авторів трактується по-різному, але суть при цьому залишається однаковою. В загальному розумінні BEM – моделювання енергоспоживання будівлі, або енергомоделювання будівель. Тобто це серія інженерних розрахунків, що дозволяють прогнозувати споживання енергії будівлею протягом року.

BEM прогнозує енергоефективність на основі даних типового метеорологічного року (*Typical Meteorological Year - ТМУ*), а також припущень щодо експлуатації будівель, що, в свою чергу, дозволяє розрахувати різні енергозберігаючі заходи [1-3]. BEM може бути використаний для оцінки споживання енергії в будівництві при застосуванні різних дизайнерських рішень та допомагає проектувальникам приймати найкращі рішення [1-3].

Очевидно, що енергомоделювання – це мистецтво, яке є нагальною необхідною сучасною компетенцією для інженера у будівництві. Як зазначає автор [4], енергомоделювання – це ціла галузь, яка може стати необхідним та корисним доповненням до будь-якого проекту. Можливість побудувати і розрахувати єдину модель будівлі в актуальних умовах експлуатації, з урахуванням динаміки і реальної фізики процесів, дає величезні можливості для прийняття проектних рішень і контролю їх якості.

Погодинні профілі холодильних і опалювальних навантажень, ефективність рекуперації і теплових насосів, природне освітлення і вплив на сусідні будівлі, оптимальна орієнтація і склад огорожувальних конструкцій – цілий комплекс інженерних розрахунків, які неможливо провести вручну [4]. Тому, використання сучасного програмного забезпечення для виконання моделювання є нагальною потребою сучасного рівня розвитку інформаційних технологій. Одним з багатьох програмних комплексів для виконання такого моделювання є «ArchiCAD»[5] – один з найбільш затребуваних програмних продуктів на ринку проектування будівель та споруд. В основі її роботи лежить технологія інформаційного моделювання будівлі (*Building Information Modelling, скор. — BIM*). Дана технологія передбачає створення цифрової копії спроектованої будівлі, з якої можна отримати будь-яку інформацію про нього, починаючи від ортогональних креслень тривимірних зображень, закінчуючи кошторисами на матеріали та звітами про енергоефективність будівлі [1].

Головна перевага технологій, використаних в «ArchiCAD», полягає в колосальній економії часу на випуск проектної документації [6]. Створення і редагування проектів відрізняються швидкістю і зручністю завдяки значній бібліотеці елементів, а також можливості миттєво перебудувувати будинок у зв'язку з внесеними змінами.

За допомогою «ArchiCAD» можна підготувати ескізні рішення майбутнього будинку, на його основі розробити конструктивні елементи і випустити повноцінні креслення для будівництва, що відповідають вимогам державних стандартів ДСТУ та ГОСТ. У даному аналізі розглянуто розрахунок класу енергоефективності житлового будинку з використанням пакету *EcoDesigner Star* програмного комплексу «ArchiCAD».

Оскільки будівельні процеси, що виконуються під час зведення будівлі а також експлуатація будівель споживають величезну кількість матеріалів та енергетичних ресурсів протягом усього терміну служби (життєвого циклу, *Life Cycle – англ.*), то будівлі мають безпосередній вплив на навколишнє середовище, починаючи від використання сировини під час будівництва, технічного обслуговування та ремонту до викидів шкідливих речовин протягом життєвого циклу будівлі [12].

Цілком очевидним є той факт, що будівельна галузь і навколишнє середовище нерозривно пов'язані між собою. Саме тому багато екологічних дискусій зосереджені на концепції екологічно сталого розвитку (*ecologically sustainable development ESD*).

Життєвий цикл – це послідовні та взаємопов'язані стадії продуктивної системи (чи послуги) – від придбання сировини чи її добування з природних ресурсів до остаточного видалення [13].

Принципи та методи оцінювання, аналізування та управління життєвим циклом визначені в міжнародних стандартах серії ISO 14040 *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework* [14].

Саме тому збалансований, оптимальний вибір і використання матеріалів в контексті концепції сталого розвитку з урахуванням життєвого циклу будівлі відіграє важливу роль у проектуванні та будівництві все більш популярного сектору «зеленого» будівництва.

Тому, якщо поєднати потужний апарат по раціональному енергоефективному проектуванню програмного продукту «ArchiCAD» з пакетами програм, які дозволяють оцінити життєвий цикл будівлі (*Life cycle assessment*), то на виході можна отримати комплексний показник енергоефективності, який варто використовувати на етапі концептуальної проробки проектних рішень ще до початку будівництва.

Висновки

1. Використання сучасного програмного комплексу «ArchiCAD» дозволяє ефективно використовувати потужний вбудований модуль EcoDesigner STAR який дозволяє виконувати моделювання енергетичних показників будівлі, на етапі попереднього моделювання, що суттєво спрощує прийняття рішення при виборі раціонального з точки зору енергоефективності типу багатопарової огорожувальної конструкції стіни.

2. Для створення будівлі яка буде водночас ефективною в контексті оцінки її життєвого циклу (LCA) варто ще на етапі проекту оцінити можливість зменшити сумарний негативний вплив на навколишнє середовище та, по можливості, надавати перевагу матеріалам натурального походження, які є енергоефективними та довговічними, які потребують мінімальних затрат енергії на їх переробку та утилізацію.

2. Очевидним є факт, що комплексне врахування теплофізичних, економічних, механічних характеристик матеріалу стіни дасть можливість оцінити та обрати найбільш оптимальний варіант огорожувальної конструкції стіни для енергоефективного будинку ще на етапі концептуального проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Reeves T., Olbina S., Raja R. A. Issa Guidelines for Using Building Information Modeling for Energy Analysis of Buildings. *Buildings*. 2015. Vol. 5 P. 1361-1388.
2. Jalaei F., Jade A. Integrating building information modeling (bim) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings. *Journal of Information Technology in Construction*. 2014. Vol. 19. P. 494-519.
3. Harish V.S.K.V., Kumar A. A review on modeling and simulation of building energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 56. P.1272–1292. 31.
4. Герасимов Н. А. Моделирование энергопотребления зданий - краеугольный камень зеленого проектирования для инженеров. *Энергосбережение*. 2014. №3. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5852 (дата звернення 22.11.2019).
5. GRAPHISOFT EcoDesignerSTAR URL: https://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner_star/ (Дата звернення 10.11.2019).
6. Білоус І. Ю. Оцінювання енергоефективності будівлі в умовах динамічної зміни характеристик середовища: дис. ... канд. технічних наук: 05.14.01 / Нац. технічний ун-т України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». Київ, 2019. 236 с.
7. Філоненко О.І., Юрін О.І. Будівельна теплофізика огорожувальних конструкцій будівель: навч. посібник. Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2015. 328 с.
8. ДСТУ-Н. Б. В. 2.6-190:2013. Настанова з розрахункової оцінки теплостійкості будівлі. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 40 с.
9. ДБН В.2.6-31:2016.Теплова ізоляція будівель. Норми проектування, виготовлення і монтажу: [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінегінбуд України, 2017. 33 с.
10. Balderstone S. Built heritage: a major contributor to environmental, social and economic sustainability. Victoria, Australia: Heritage Victoria, Department of Planning and Community Development. 2004.
11. Життєвий цикл URL: <https://www.ecolabel.org.ua/zhittevij-tsikl> (дата звернення 12.05.2022).
12. ISO 14040. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework [valid from 2006-07-01]. ISO: Genève, Switzerland, 2006.

Башиньський Сергій Іванович – магістрант групи Б-21мз, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vitalijbevzal@gmail.com.

Науковий керівник: **Бікс Юрій Семенович** — кандидат техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Bashynskiy Serhiy I. — Master’s student, Department of Building, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : iptbass@gmail.com.

Supervisor: **Biks Yuriy S.** — PhD, Assistant Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.