

УДК 697.1

І.О. Суходуб, П.Ю. Сердечний, Кафедра теплотехніки та енергозбереження
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗЕЛЕНОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ БУДІВЛІ З ТОЧКИ ЗОРУ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Мета. Дослідження проблематики різних підходів до оцінки рівня енергетичної ефективності будівель при проведенні їх енергетичної сертифікації та використанні систем зеленої сертифікації.

Методика. В процесі дослідження заявленої проблематики розглянуто декілька комплексних енергетичних моделей громадської будівлі, побудованих за допомогою спеціалізованих програмних продуктів для енергетичного моделювання.

Результати. У ході дослідницької роботи проаналізовано декілька типових функціональних станів енергетичних оболонок громадської будівлі, наведені основні характеристики, переваги, недоліки та складнощі, з якими можна зіштовхнутись при проведенні енергетичної сертифікації будівлі, а також при зеленій сертифікації.

Наукова новизна. Систематизовано наявний досвід щодо проведення енергетичного моделювання будівель та аналізу складнощів, які виникають при моделюванні, що дозволяє оптимізувати загальний процес проведення досліджень енергетичної ефективності будівель.

Практична значимість. В результаті проведення заявленого дослідження визначено відмінності у різних системах енергетичної сертифікації будівель, досліджено можливий потенціал використання програмних комплексів для проведення зеленої сертифікації.

Ключові слова. Зелена сертифікація, енергетичне моделювання, енергетична ефективність будівель, енергетична сертифікація будівель, динамічні моделі.

ANALYSIS OF SYSTEMS OF GREEN CERTIFICATION OF BUILDING FROM THE POINT OF VIEW OF THE ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY

I.O. Sukhodub, P.Yu. Serdechnyj, Department of Heat Engineering and Energy Saving
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Purpose. The study of the problems of various approaches to assessing the level of energy efficiency of buildings during its energy certification with using of green certification systems.

Methods. In the process of studying the stated problems, several integrated energy models of a public building, constructed using specialized software products for energy modeling, were considered.

Results. During the research work, several typical functional states of the energy shells of a public building were analyzed. The main characteristics, advantages, disadvantages and difficulties that can be encountered during energy certification of the building, as well as with green certification, are given.

Scientific novelty. The existing experience in conducting energy modeling of buildings and the analysis of difficulties that arise during modeling is systematized, which allows to optimize the overall process of conducting studies of the energy efficiency of buildings.

The practical significance. As a result of the study, the differences in some systems of energy certification of buildings were identified, the potential possibilities of using software systems for green certification was investigated.

Keywords. Green certification, energy modeling, energy efficiency of buildings, energy

certification of buildings, dynamic models.

Вступ. Зелене будівництво – це практика створення споруд та використання у них процесів, які є екологічно орієнтовними та ресурсоефективними протягом всього життєвого циклу будівлі, від розташування та проектування до будівництва, експлуатації, обслуговування, реконструкції та утилізації (знесення) [1]. Відповідно, системами зеленої сертифікації називають такі методики оцінки, які враховують великий спектр питань, пов'язаних з екологічністю будівлі. Системи зеленої сертифікації будівель активно розвиваються вже не один десяток років, проте в Україні практика такої оцінки будівель та проєктів їх будівництва не є поширеним явищем. На даний час в Україні діє лише одна методика визначення рівня енергетичної ефективності будівлі, яка базується на ДСТУ А.2.2-12:2015, який використовується як при визначенні класу енергетичної ефективності за енергопотребною згідно з ДБНВ.2.6-31:2016 [2], так і при проведенні енергетичної сертифікації будівель за енергоспоживанням згідно з Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» [3]. Динамічний розрахунок теплотехнічних параметрів оболонки та мікроклімату будівлі є досить важким та громіздким, тому потребує використання спеціалізованих програмних продуктів із застосуванням у них погодних файлів, наприклад, International Weather for Energy Calculations (IWEC), безкоштовна версія якого є для двох міст України (Київ та Одеса) [4] або інформація про сонячну радіацію [5]. Тому такі програмні продукти, як DesignBuilder та ін. стають все більш популярними серед українських науковців та інженерів. Такий програмний продукт зручно використовувати для прийняття рішень на етапі попереднього проєктування, оцінці вартості життєвого циклу будівель, при проведенні «зеленої» сертифікації будівель згідно міжнародних систем сертифікації LEED та BREEAM і т.д. [1, 6].

Мета та завдання:

- 1) Проаналізувати наявні програмні комплекси, що можуть бути використані для енергетичного моделювання будівель та, зокрема, зеленої сертифікації;
- 2) Навести результати моделювання при проведенні зеленої сертифікації громадської будівлі, а також порівняння методів визначення енергетичної ефективності, що використовувалися для дослідження громадської будівлі.

Матеріал і результати досліджень.

Для енергетичного моделювання будівель часто використовуються такі програмні комплекси, як: RETScreen, EnergyPlus, Excel, eQUEST, DesignBuilder та ін. Програма EnergyPlus широко використовується в дослідженнях енергетичних характеристик будівлі, проте не має власного графічного інтерфейсу й до того ж, в самій програмі досить складно створювати складні системи опалення, вентиляції та кондиціонування. Саме в цьому випадку є доцільним використовувати графічний інтерфейс DesignBuilder з можливістю зручного створення геометрії, інженерних системи будівлі та задання її теплотехнічних характеристик. Найбільш поширені рішення, що аналізуються в рамках проєктів з підвищення енергетичної ефективності:

- заходи щодо зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції будівлі;
- модернізація системи опалення будівлі;
- модернізація систем вентиляції з використанням механічних системи з теплоутилізацією;
- дослідження доцільності застосування різних типів систем з використанням поновлюваних та нетрадиційних джерел в громадських будівлях;
- моделювання параметрів теплового комфорту будівель з різним рівнем теплового захисту та типом системи опалення.

Процес використання програми DesignBuilder при аналізі проектів з підвищення енергетичної ефективності будівель розглянемо на прикладі громадської будівлі, а саме середньої загальноосвітньої школи, що розташована в м. Київ. Рік побудови об'єкту – 1963. Будівля закладу освіти виконана у Н-подібній формі з однією чотириповерховою та двома одноповерховими секціями. Детальні відомості про площу огорожувальних конструкцій будівлі та характеристики школи наведені в табл. 1 та в табл. 2 відповідно.

Таблиця 1 – Загальна інформація щодо огорожувальних конструкцій

Огородж. конструкція	Тип	Площа ОК, м ²	U _{пр} , Вт/м ² ·К
Зовнішні стіни	Цегляні ЗС	3069,4	0,847
Вікна	Металопластикові	458,9	1,698
	Дерев'яні	422,2	2,857
	Склоблоки	208,6	3,333
Двері	Дерев'яні	5,4	2,857
	Залізні	1,8	2,128
	Металопластикові	15,8	2,000
Дах	Над опалювальним приміщенням	1117,2	2,709
	Неопалювальне горище	978,9	0,71
Підлога	-	2092,2	-

Таблиця 2 – Загальна інформація про школу

Параметр	Показник
Температурний режим приміщень, °С	13 - 22
Кількість учнів та робітників, чол.	670
Графік роботи	з 8:00 до 18:00
Графік роботи системи опалення, год/добу	24
К-ть радіаторів, шт.	225

Енергетичне моделювання громадської будівлі було виконано в програмі DesignBuilder та моделі, створеної у програмному середовищі Excel відповідно до вимог [3] та [7].

Для верифікації/калібрування енергетичних моделей проводилося порівняння фактичних даних середнього споживання енергоносіїв за останні три роки з результатами моделювання. Саме тому створювалися три моделі будівлі:

- фактична модель (Actual) – відображає існуючі температурні умови та повітрообмін;
- базова модель (Baseline) – умови комфортності та повітрообміну доведені до нормативних показників (з рахунок впровадження механічної системи вентиляції);
- запропонована модель (Proposed) – теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій відповідають сучасним вимогам, впроваджується система припливно-витяжної вентиляції з теплоутилізацією.

При розрахунку моделі будівлі відповідно до [8] було визначено клас енергоефективності по розрахунковому рівню енергоспоживання (клас G, 60,91 кВт·год/м³), а також визначено рівень енергоспоживання будівлі після ряду впроваджених заходів з енергоефективності (клас B, 26,56 кВт·год/м³): утеплення фасадів, заміна вікон та дверей, утеплення даху, встановлено локальну припливно-витяжну вентиляцію з рекуперацією. Результати розрахунків наведено на рис. 1.

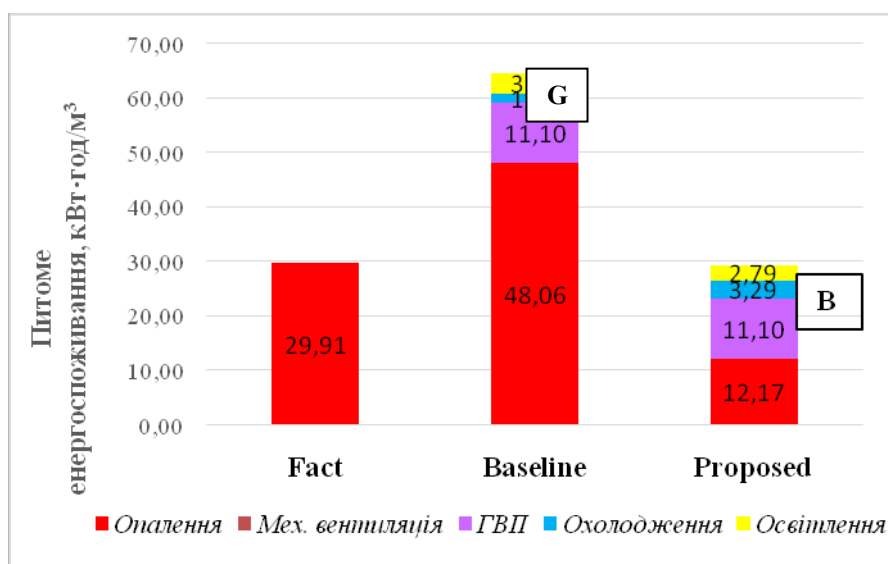


Рисунок 1–Результати енергетичної сертифікації згідно [8]

Побудована 3-D геометрія енергетичної моделі будівлі в DesignBuilder наведена на рис.

2.

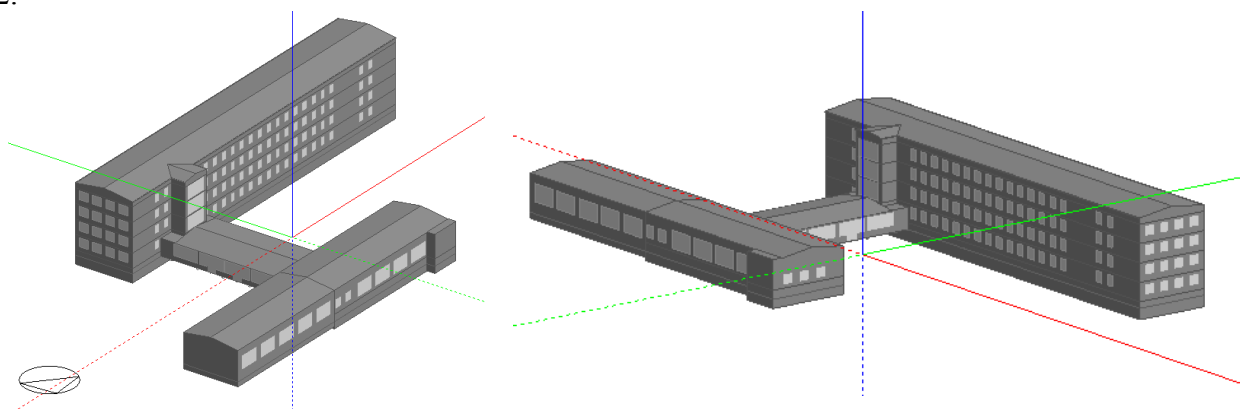


Рисунок 2 - Вигляд енергетичної моделі школи

В програмі DesignBuilder для запропонованої моделі застосовувалася водяна система опалення та припливно-витяжна система вентиляції з теплоутилізацією.

Результати моделювання енергоспоживання на потреби опалення, освітлення, обладнання, насосів та вентиляторів для трьох моделей наведені в табл. 3 та відображені на рис. 3.

Таблиця 3 – Моделювання будівлі у DesignBuilder

Показник споживання	Actual (фактична)	Baseline (базова)	Proposed (запропонована)
Опалення, кВт·год/рік	775706,1	962113,2	337409,3
Освітлення кВт·год/рік	42374,5	42374,5	42087,8
Обладнання, кВт·год/рік	19292,9	22508,5	22356,1
Насоси, кВт·год/рік	6787,1	12074,7	6802,6
Вентилятори, кВт·год/рік	-	72637,3	71190,1

Для розрахунку економії енергії при впровадженні проекту з підвищення енергоефективності доцільно порівнювати дані для базової та запропонованої моделей. В даному випадку загальне зниження енергоспоживання складає 55%.

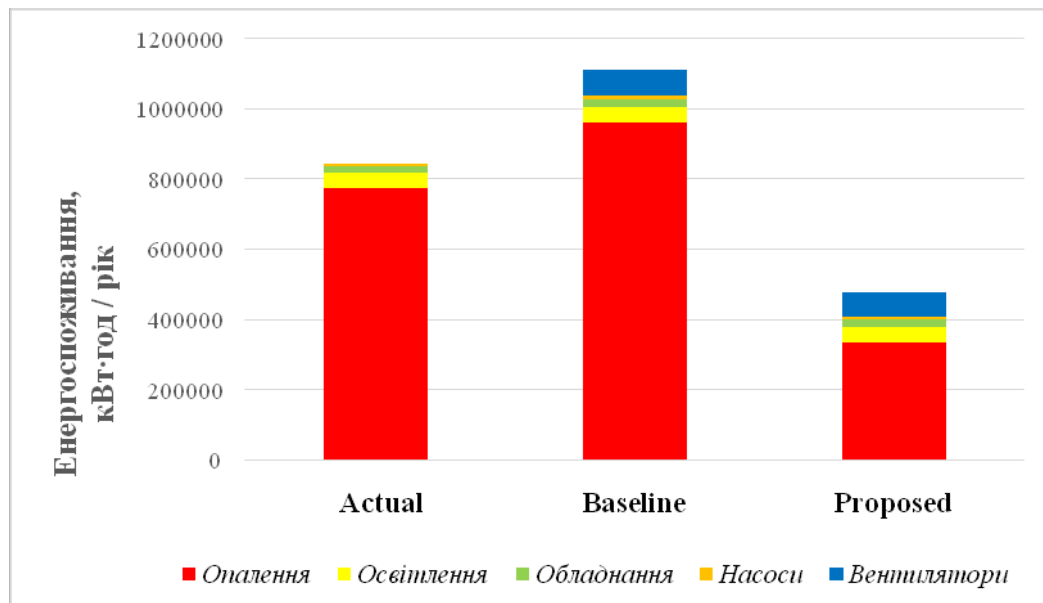


Рисунок 3 –Результати енергетичного моделювання

Для аналізу доцільності використання систем відновлювальних джерел аналізувалися такі системи: сонячна електростанція на базі ФЕМ та система ГВП на базі сонячних колекторів.

Пропонується на даху чотириповерхової секції освітнього закладу встановити фотоелектричну систему (ФЕС), яка задовольнятиме частину енергопотребы школи та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку. Моделювання ФЕС було здійснено в програмному середовищі PV*SOL. Пропонується розмістити 138 модулів виробництва компанії AEG моделі AS-P605-280, під'єднаних до двох інверторів Fronius Symo 20.0-3-M. Панелі розташовані на південній половині скатного даху у три ряди під кутом 30° до горизонту. Кінцеві результати симуляції роботи ФЕС наведені в табл.4 та на рис. 4.

Таблица 4 – Характеристики встановленої сонячної електростанції

Параметр ФЕС	Величина
Вихідна потужність системи, кВт	38,6
Коефіцієнт продуктивності (PR), %	81,8
Негативний вплив затінення, %/рік	5,2
Річна генерація (мережа змінного струму), (кВт·год)/рік	42157
Власне споживання, (кВт·год)/рік	18548
Подача в загальну мережу, (кВт·год)/рік	23609
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	25294
Споживання в режимі очікування (інвертор), (кВт·год)/рік	23
Загальний обсяг споживання:	76082
споживання від ФЕС	18548
споживання від загальної мережі	57534

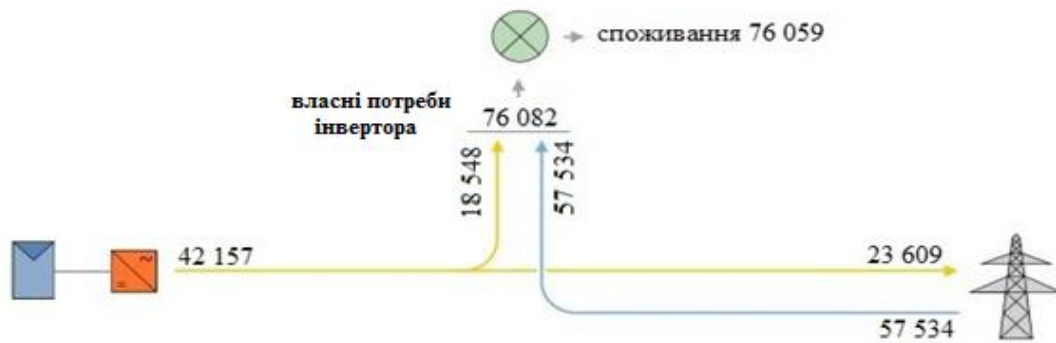


Рисунок 4 – Баланс споживання та генерації електроенергії освітнім закладом

Моделювання системи ГВП на базі сонячних колекторів було здійснено в програмі T*SOL. Пропонується розмістити 40 колекторів виробництва компанії Viessmann моделі Vitosol 100 -FM SH1F, під'єднаних до баку-акумулятору, який, у свою чергу, контактує з мережею централізованого водопостачання. Колектори розташовані на південній половині скатного даху під кутом 30° до горизонту. Кінцеві результати симуляції роботи СК наведені в табл.5 а відображені на рис. 5.

Таблиця 5 – Характеристики встановленої системи СК

Параметр системи СК	Величина
Теплова потужність системи, кВт	70,28
Загальна площа поверхні колекторів, м ²	100,4
Частка заміщення централізованого ГВП, %/рік	25,8
Річна генерація теплоти, (кВт·год)/рік	36597,9
Ефективність роботи системи, %	28,5
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	8461

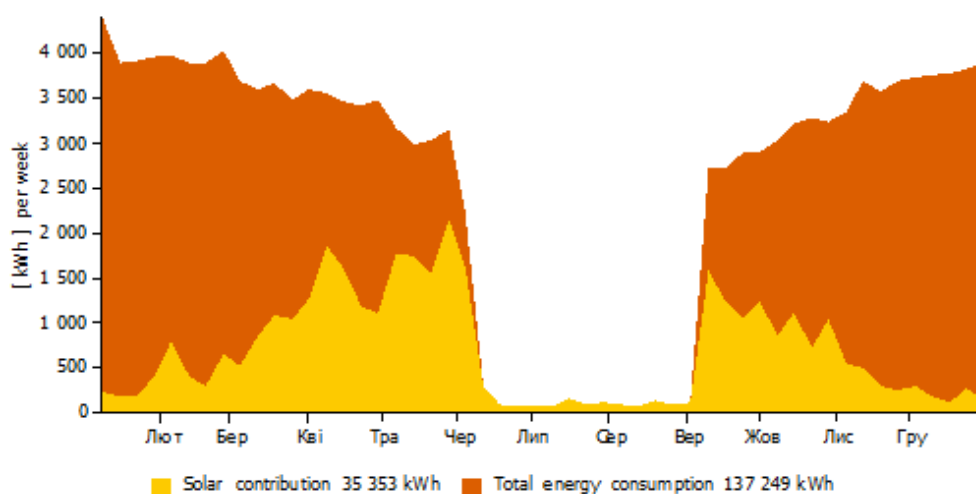


Рисунок 5 – Динаміка споживання теплоти від СК та централізованим ГВП

Відповідно до [9], у системі сертифікації LEED є ціла категорія, що пов'язана з

енергоспоживанням та навколишнім середовищем “Energy and Environment”. В рамках цієї кредитної категорії є два кредити, які пов’язані з енергетичною ефективністю та відновлювальними джерелами енергії – “Optimize energy performance” та “Renewable energy production” відповідно. Моделювання для обох кредитів повинно проводитися в програмних середовищах, що використовують часові кліматичні дані та динамічний підхід до моделювання. Базова будівля будується за підходами Appendix G ASHRAE Standard 90.1-2010, а запропонована – відповідно до прийнятих проектних рішень. Кількість балів обчислюється на базі скорочення витрат на оплату енергоносіїв у %.

До запропонованої моделі в DesignBuilder було додано систему охолодження Packaged Terminal Air Conditioner. Результати моделювання зображені на Рисунках 6, 7.

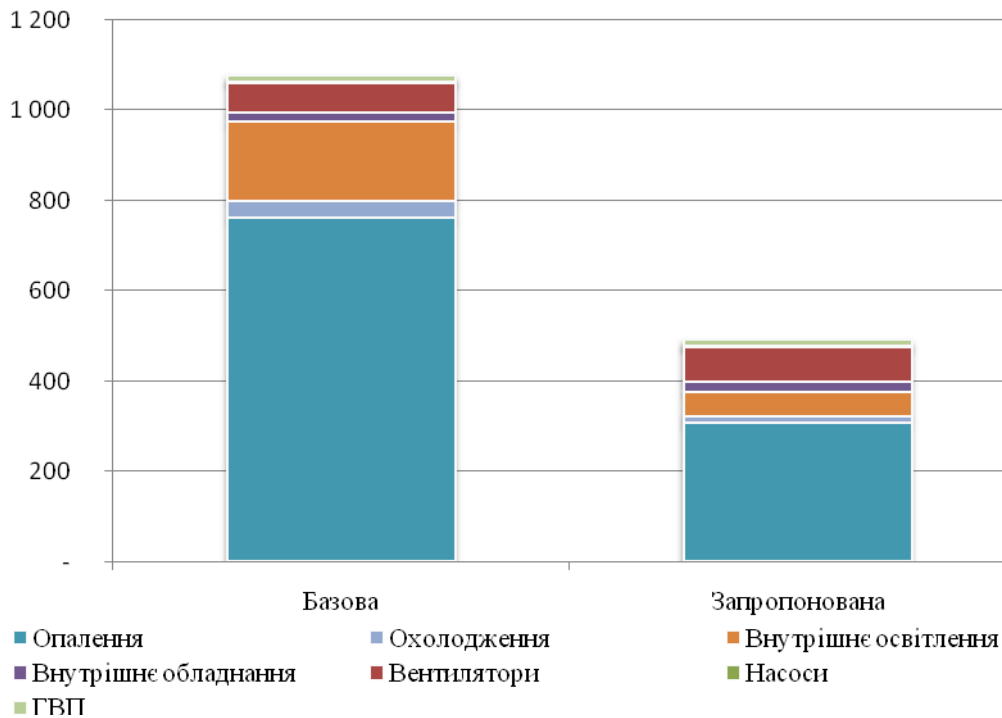


Рисунок 6 – Річне енергоспоживання моделей, МВт·год

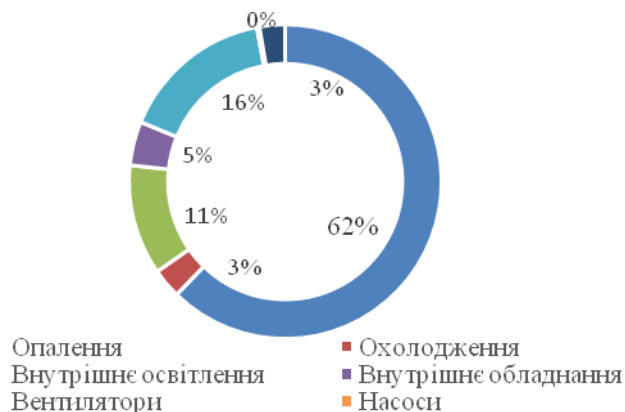


Рисунок 7 – Системи споживання енергії запропонованої будівлі, %

Отримавши такі результати щодо скорочення витрат на оплату енергоносіїв у % проект може отримати 16 з 16 балів в рамках кредиту “Optimize energy performance” для навчальних

закладів. Враховуючи результати моделювання відновлювальних джерел енергії, система на сонячних колекторах може принести 2 бали з 3 можливих в рамках кредиту “Renewable energy production”, а дахова сонячна електростанція – 1 бал.

Проаналізувавши результати моделювання для системи зеленої сертифікації LEED можна виокремити наступні переваги та недоліки оцінки енергоефективності будівлі:

Переваги	Недоліки
Використання динамічного підходу до енергетичного моделювання та погодинних кліматичних даних	При моделюванні не враховується погіршення ефективності інженерних систем з часом, неефективність системи розподілу та термостатичного контролю
Використання підходу з базовою та запропонованою будівлею, що дозволяє враховувати форму та розміри будівлі	Використання ASHRAE Standard 90.1-2010 Appendix G, не врахування локальної специфіки щодо енергоефективності будівель та інженерних систем
Врахування відсотку застосування, орієнтації будівлі, більш складних заходів підвищення енергетичної ефективності	Використання підходу бази скорочення витрат на оплату енергоносіїв, а не первинної енергії, або викидів CO ₂

Висновки. Різні підходи до оцінки рівня енергетичної ефективності будівель при проведенні їх енергетичної сертифікації зумовлені особливостями аналізу не тільки інженерних систем, а й навколишнього середовища. Використання систем зеленої сертифікації будівель можна розглядати як реальний засіб, який зменшує негативний вплив будівлі та її систем на навколишнє середовище. Серед основних проблем, що виникають при енергетичному моделюванні слід відмітити складність верифікації/калібрування моделі та налаштування інженерних систем будівлі. Також важливо знаходити техніко-економічний баланс при проектуванні нових або реконструкції існуючих будівель.

Список використаних джерел

1. TheEPA’sWebArchive. BasicInformation[Електронний ресурс].– Режим доступу:<https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/about.html>
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016. – [Чинні від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006.] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. –33 с. – (Державні будівельні норми України)
3. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 р. №2118-VIII. Голос України. 2017. 22 липня. (№134)
4. Сайт з погодними файлами програмного забезпечення EnergyPlus [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/UKR%20%20
5. Сайт з даними про сонячну радіацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://meteonorm.com/en/>
6. Перспективы сертификации жилых зданий по "зеленым" стандартам в Украине / Е. А. Тимошенко, Н. В. Савицкий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - 2016. - № 4. - С. 26-34. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2016_4_5
7. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ-Н Б А.2.2-12: 2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 199 с
8. 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](#) від 20.07.2018, № (55) 2017. 22 липня. (№134)

9. LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION // U.S. Green Building Council, (updated July 25, 2019, USA)