

УДК 620.91:
697.1

ШОВКАЛЮК М. М., ВАЩИШИН Р. Л.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ІЗ РОЗРОБКОЮ ПРОПОЗИЦІЙ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Існує багато підходів до оцінювання енергетичної ефективності будівель. В Україні раніше при розробці енергетичного паспорту будівель застосовувалася методика, що ґрунтувалася на стаціонарних розрахунках з використанням градусо-днів опалювального періоду. Потім для завдань енергетичної сертифікації будівель було запроваджено національну методику розрахунку на базі помісячного квазістаціонарного метода. Спрошений погодинний метод розрахунку дозволяє враховувати теплову інерційність огорожень. Останніми роками все більшої актуальності набувають методи динамічного енергетичного моделювання з використання програмних комплексів, адже це дозволяє ще на етапі попереднього проектування оцінювати енергетичні витрати на різні потреби будівлі до та після впровадження проєктів з підвищення енергоефективності та надає можливість створення 3D-моделі з урахуванням геометричних та теплотехнічних параметрів, завдання різних конфігурацій і типів інженерних системи будівлі. Для побудови енергетичної моделі був обраний учбовий корпус для визначення показників енергоспоживання та виявлення заходів, які мають найбільший вплив на енергетичні характеристики будівлі.

Мета. Оцінювання енергетичних характеристик навчального корпусу закладу вищої освіти із моделюванням енергоспоживання у спеціалізованому програмному забезпеченні, технічна та економічна оцінка можливостей підвищення рівня енергоефективності.

Методи дослідження. Виконано енергетичне обстеження об'єкту дослідження та техніко-економічний аналіз з використанням інженерних методик розрахунку, експериментальні вимірювання параметрів мікроклімату будівлі із застосуванням лабораторного обладнання. Застосовуються моделювання у спеціалізованих програмних продуктах RETScreen, EnergyPlus, DesignBuilder.

Результат. За допомогою розроблених моделей отримано структуру енергоспоживання навчального корпусу та проведено оцінювання потенціалу енергозбереження; у разі впровадження запропонованих заходів очікується зменшення споживання енергетичних ресурсів та грошових витрат на їх оплату, а також підвищення якості надання освітніх послуг. Дослідження проводилося в рамках роботи над магістерською дисертацією.

Наукова новизна. Розглянуто технічний потенціал зазначеного програмного забезпечення для моделювання енергетичних характеристик будівлі складної конфігурації на прикладі навчального корпусу закладу освіти, проаналізовано методи опрацювання вихідних даних для програм, наведено порівняльний аналіз результатів розрахунків для фактичного стану будівлі, базового рівня та після впровадження комплексу енергозберігаючих заходів.

Практична значимість. В результаті проведення дослідження визначено потенціал використання різних програмних комплексів для виконання прикладних досліджень магістерської дисертації та розроблено проєкт комплексної термомодернізації будівлі навчального корпусу №5.

Ключові слова. енергоспоживання; енергетична ефективність; термомодернізація; навчальний корпус; моделювання.

Вступ. Питання підвищення енергетичної ефективності закладів освіти та управління процесами енергоспоживання [1, 2] в умовах підвищення вартості енергоресурсів набуває все більшої актуальності. Теплотехнічні показники огорожень будівель не відповідають сучасним нормам [3], а енергоспоживання значно перевищує вимоги, що висуваються сьогодні під час нового будівництва та реконструкції [4, 5], хоча умови комфортності у них не дотримуються на належному рівні [6]. Розробка проєктів підвищення енергоефективності з виконанням

комплексної термомодернізації будівлі із модернізацією інженерних систем та автоматизації роботи обладнання з дотриманням норм [7] можлива за допомогою енергетичного моделювання [8]. Можливості застосування спеціалізованих програмних продуктів під час виконання наукових досліджень у закладах освіти показано в [9, 10]. В роботі [11] показано, що однією з проблем, з якими стикаються студенти під час створення моделей та проведення енергетичного моделювання, є калібрування моделі та її верифікація, проте навички з використання сучасних методів надає додаткові переваги при працевлаштуванні.

Завдання дослідження: поглиблення існуючих підходів до розробки проєктів підвищення енергетичної ефективності будівель навчальних закладів із застосування динамічного моделювання у спеціалізованому програмному продукті та виконання порівняльних розрахунків енергоспоживання для фактичного стану будівлі, що експлуатується, базового рівня та оцінювання потенціалу енергозбереження.

Загальна характеристика та опис об'єкта дослідження. Будівля навчального корпусу № 5 КПІ ім. Ігоря Сікорського 1974 року побудови розташована за адресою вул. Політехнічна, 6 і конструктивно складається з трьох частин: основна будівля має 9 основних поверхів та дві добудови – триповерхову та п'ятиповерхову (рис. 1). У будівлі, де навчається і працює близько 2000 людей (з них 1640 студентів), розташовані приміщення різного призначення: аудиторії, лабораторії, адміністративні приміщення, магазин, допоміжні приміщення. Об'єм за зовнішніми обмірами – 67860 м³.



Рис. 1. Загальний вигляд навчального корпусу

Теплопостачання – централізоване, наявний індивідуальний тепловий пункт (ІТП) у 9-поверховій будівлі з насосною схемою; у 3-поверховій – ІТП елеваторного типу. Проєктні параметри теплоносія для опалення – 95/70°C. Гаряче водопостачання відсутнє. Електроенергія постачається корпусу від ТП, яка розташована біля корпусу. Системи опалення: для 9-поверхової частини – однотрубна регульована проточна тупикова з верхнім розведенням; для 5-поверхової частини – однотрубна регульована проточна тупикова з нижнім розведенням; для 3-поверхової частини – однотрубна горизонтальна система із замикаючими ділянками.

В ході енергетичного обстеження було уточнено геометричні параметри будівлі, виконано розрахунки тепловтрат з урахуванням властивостей зовнішніх стін за [12] та річних витрат енергії, виконано експериментальні виміри рівня CO₂, внутрішніх температур та вологості у приміщеннях будівлі, проведено тепловізійну зйомку для оцінювання «проблемних місць». Було виявлено, що параметри мікроклімату не відповідають вимогам [6], температури в

приміщеннях низькі через недотримання температурного графіку подачі теплоносія, стан огорожень та підвищені втрати.

Побудова енергетичної моделі у програмному продукті DesignBuilder. Програмний продукт DesignBuilder дозволяє проводити динамічне моделювання енергоспоживання на потреби опалення, вентиляції, кондиціонування з виконанням 3D моделі будівель з складною конфігурацією (рис. 2). Джерелом для кліматичної інформації виступає IWEC файл з погодинними показниками погоди у місті Київ.

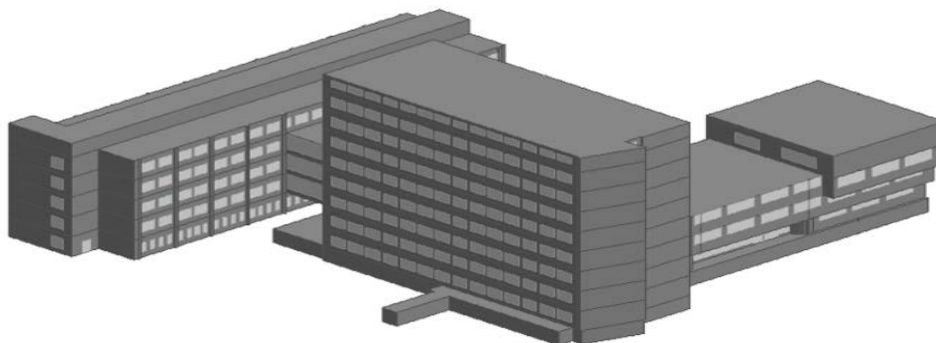


Рис. 2. Створена 3D модель навчального корпусу для проведення енергетичного моделювання

В спеціалізованому програмному продукті DesignBuilder було проведено серію розрахунків і виконано порівняльний аналіз.

Модель з реальними характеристиками будівлі (actual) було створено у 3D за допомогою існуючого 2D поверхового плану (формату «*.dxf») з фактичними конструктивними та теплотехнічними характеристиками об'єкту. Енергоспоживання моделі відповідає усередненому фактичному споживанню будівлі за три роки.

Окрім фактичної, було розроблено ще дві моделі будівлі:

- базова (baseline) – з приведенням будівлі до базового рівня споживання теплової енергії, охолодження та кондиціонування, що враховує нормативні умови експлуатації.
- запропонована (proposed) – з впровадженням заходів по утепленню стін та заміні світлопрозорих конструкцій на нові для доведення огорожувальних конструкцій до вимог згідно [3], а також впровадженням системи рекуперації.

Модель фактичного (actual) енергетичного використання. Будівлю поділено на три блоки (А – 9-ти поверхів, В – 5-ти поверхів та С – 3 поверхи), кожен блок розділений на зони. Зони поділені в залежності від приміщення, що використовуються (лабораторні, лекційні зали, аудиторії, вбиральні). Для кожної з зон в залежності від типу приміщення завдані параметри експлуатації (табл. 1).

Таблиця 1

Фактичні характеристики функціонування будівлі навчального корпусу

Показник	Значення
Заповнення будівлі людьми, людей/м ²	0,117
Фактична середня температура у середині будівлі, °С	17
Питома потужність електрообладнання, Вт/ м2	4,74
Інфільтрація повітря, л/с	0,35
Питома потужність системи освітлення, Вт/ м2	2,4

Також було задано характеристики будівлі у відповідних розділах програмного продукту. У розділі «construction» задано властивості огорожень, такі як товщину шарів стіни

та характеристики матеріалів. У розділі «openings» були задані опори теплопередачі для вікон та дверей. У розділі «HVAC system» було обрано тип системи опалення з прийнятими параметрами теплоносія постачальника теплової енергії. Схематичне зображення системи опалення наведено на рис. 3.

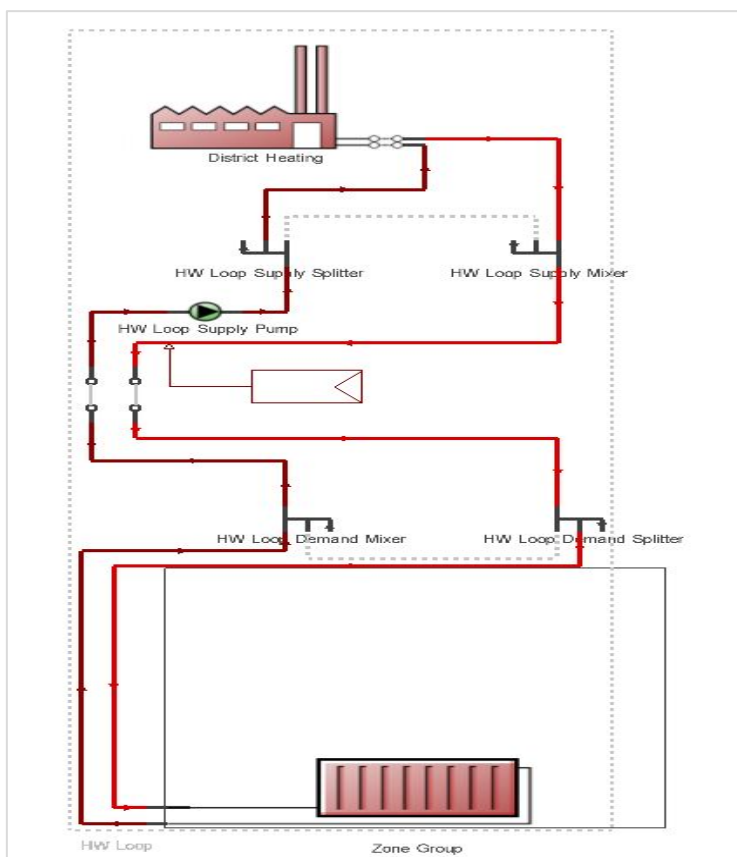


Рис. 3. Система опалення фактичної моделі будівлі

Споживання теплової енергії в результаті моделювання склало – 952042 кВт·год, споживання електроенергії – 303763 кВт·год (наведено у табл. 2).

Таблиця 2

Кінцеве споживання енергії (EndUses) фактичної моделі

Тип системи	Електроенергія, кВт·год
Система охолодження	0
Внутрішнє освітлення	172001,27
Внутрішнє обладнання	127727,43
Насоси	4034,23
Всього	303762,93

DesignBuilder дозволяє побудувати графіки основних характеристик (рис. 4) після проведеного моделювання, а саме таких як:

- приріст тепла, споживання енергії; витрати палива, навантаження;
- графіки температури, швидкості повітря, тиску, сонячної радіації моделей;
- оцінки комфортності: температур, вологості, CO₂;
- теплового балансу та припливної вентиляції.

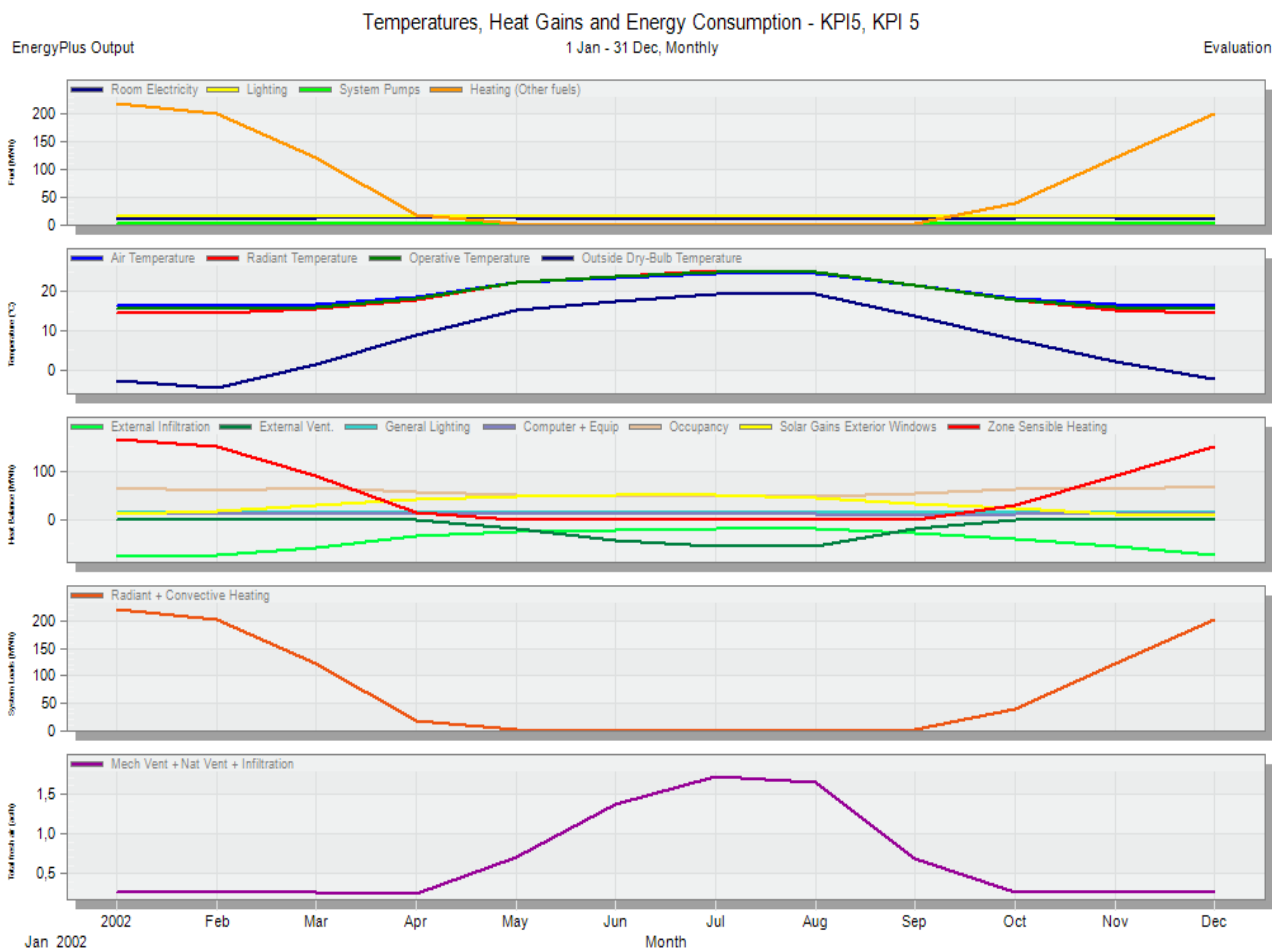


Рис. 4. Показники споживання енергії, приросту тепла, температурні дані

Від фактичних даних (за показами лічильників) у побудованій моделі споживання теплоенергії відрізняється на 2,5%, а електроенергії на 2,4%, тому можемо вважати, що модель досить точно передає фактичне споживання будівлі. Також можемо оцінити зміну комфортності мікроклімату в приміщеннях, вміст вуглекислого газу та вологості.

Модель базового (baseline) енерговикористання. Модель побудована з дотриманням умов температурних параметрів та умов мікроклімату згідно з нормативними вимогами: температура приміщень, де працюють люди 20°C з режимом зниження у нічний період та неробочі дні до 17 °C; подача припливного повітря в приміщення – 7 л/с на людину; кратність інфільтрації – 3,5. Також було завдано системи освітлення з дотриманням вимог по освітленості робочих зон (коефіцієнт природного освітлення 0,42), виставлено щільність потужності електрообладнання 2,4 Вт/м², враховано роботу механічної системи вентиляції з рекуперацію явної теплоти та роботу системи охолодження повітря «DX cooling coil». Отримані результати після симулювання показують ріст споживання енергоресурсів порівняно з фактичною моделлю. Спостерігається ріст споживання теплоти на 38%.

Модель запропонованого (proposed) енерговикористання. У моделі було впроваджено такі заходи, як: утеплення зовнішніх несучих конструкцій, утеплення горища до нормативних вимог [3], впровадження системи рекуперації в системі вентиляції, заміна на енергоефективні вікна, модернізація індивідуального тепlopункту тієї частини будівлі, де встановлено елеватор. Схематичне зображення системи опалення для запропонованої моделі на рис. 5.

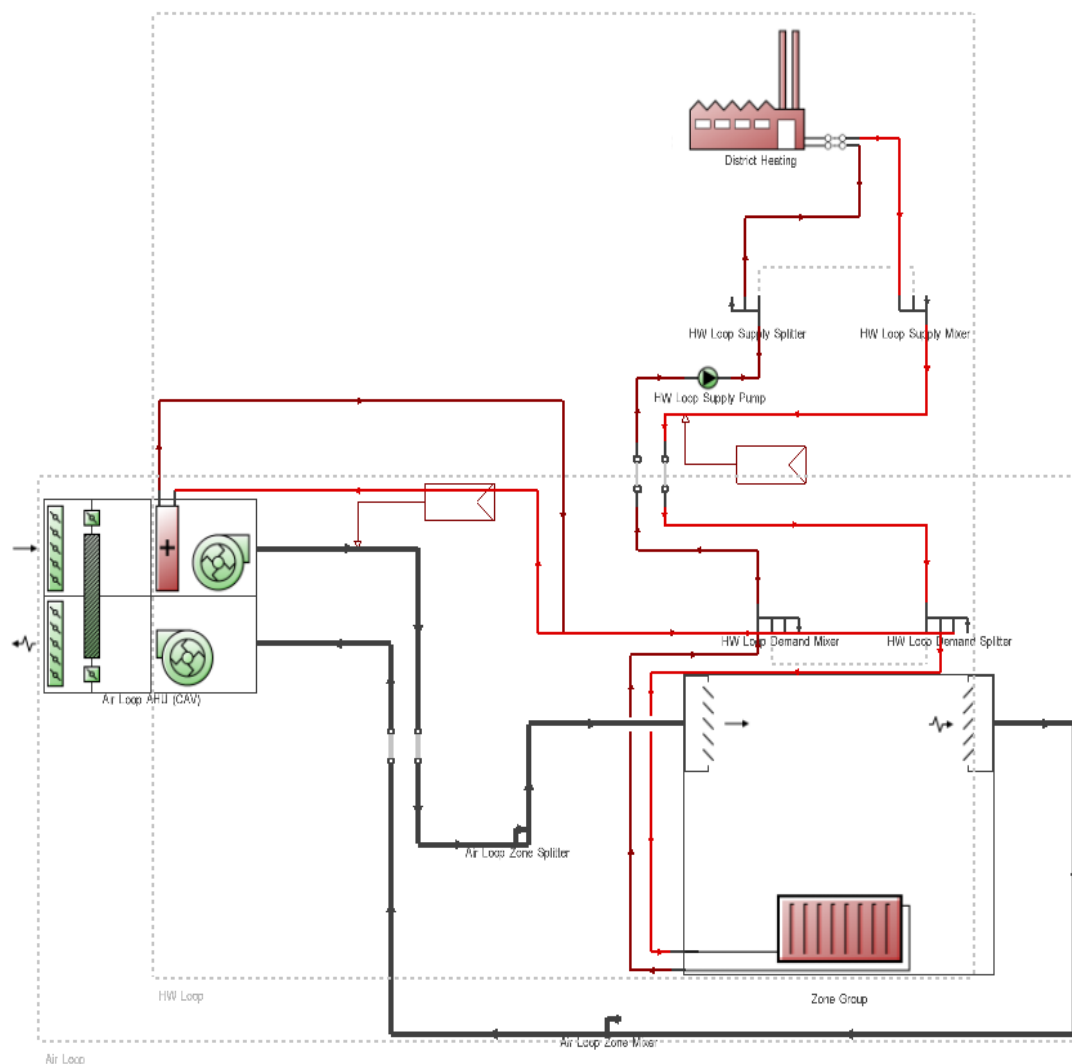


Рис. 5. Схематичне зображення системи опалення та вентиляції моделі (proposed) корпусу

Зменшення витрат теплової енергії від фактичних витрат склали 53%, а від базової на 72%. Споживання електроенергії склало 23% менше від фактичного та 15% менше від базової моделі. Такі властивості мікроклімату, як вологість, вміст вуглекислого газу, температура повітря є дуже важливими для навчальних корпусів. Порівнюючи графіки, що розраховує програмний продукт, виявлено, що найкращий варіант щодо комфортності показує запропонована модель.

Порівняльний аналіз результатів моделей DesignBuilder та RETScreen. Ще одним програмним продуктом для моделювання споживання енергії є RETScreen, що дозволяє оцінити життєздатність проектів з точки зору фінансових та технічних рішень. RETScreen прийнято та рекомендовано програмами для сприяння чистій енергетиці на всіх рівнях у всьому світі. Отже, було створено модель учбового корпусу у RETScreen (фактичний стан, що і прийнятий за базовий рівень, та споживання після впровадження пропозицій з підвищення енергоефективності). Витрата теплової енергії в запропонованому випадку знизилася на 53%, а електричної енергії на 26%. Отримані порівняльні результати є досить точними на моделі, що описує фактичний стан, проте у результатах після впровадження заходів відмінності є більш

суттєвими, адже економія енергії визначається відносно базового рівня. Також це пов'язано із іншими причинами.

Під час моделювання у RETScreen потрібно завдавати попередньо обчислені опори теплопередачі, натомість DesignBuilder проводить розрахунки енергопотребити будівлі, для якої конструктивні характеристики задаються по шарам, а обрахунки здійснюються з урахуванням теплопровідних включень. Динамічне енергетичне моделювання DesignBuilder дозволяє враховувати теплову інерційності масиву будівлі, погодинну зміни кліматичних параметрів та змінні режимів роботи інженерних систем, що значно підвищує точність оцінки. RETScreen проводить розрахунки на основі середньомісячних значень температури зовнішнього повітря [13], дозволяє виконувати порівняльний аналіз економії витрат енергії на потреби опалення в результаті термомодернізації з оцінюванням економічного ефекту, проте не має можливостей завдавати більш детально характеристики інженерних систем і обладнання до та після модернізації. Також потрібно зазначити, що великий відрив базового навантаження від фактичного стану пов'язаний із тим, що вона враховує додаткові витрати енергії на роботу систем механічної вентиляції та системи охолодження.

Зведені порівняльні результати наведено на рисунках 6, 7.

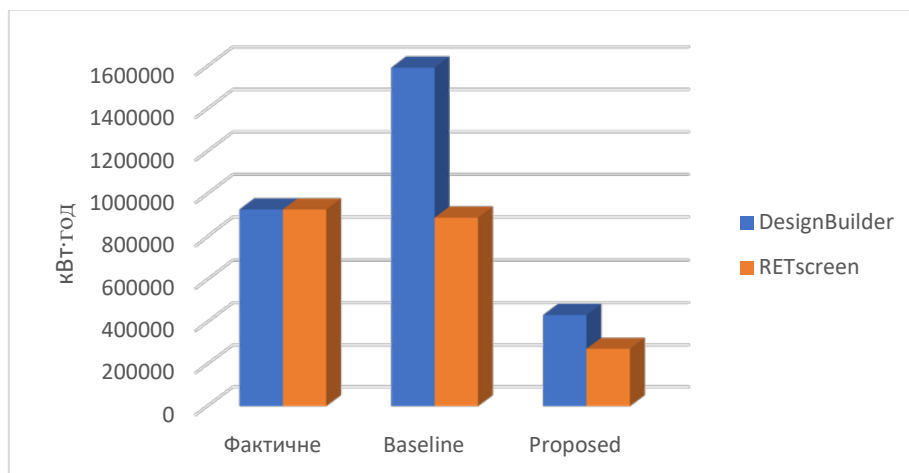


Рис. 6. Порівняння споживання теплової енергії в моделях

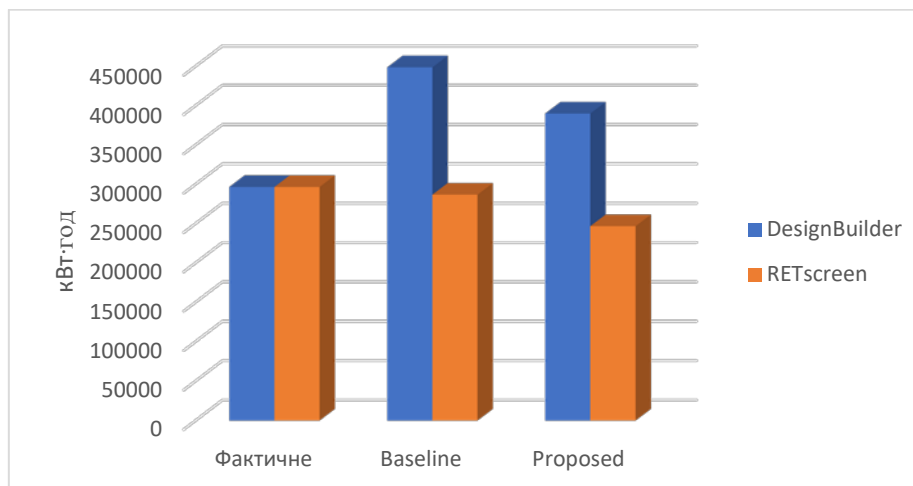


Рис. 7. Порівняння споживання електричної енергії в моделях

Програма DesignBuilder на основі побудованої 3D моделі автоматично виконує розрахунки геометричних та теплотехнічних характеристик будівлі і після проведення

симуляції створює кінцевий звіт (HTML) з погодинними значеннями та результатами розрахунків, будує графіки та гистограми для порівняння енергоспоживання, властивостей мікроклімату в розрахункових зонах будівлі, тощо. Недоліками програми можна назвати тривалий час симуляції, через який робота з іншими проектами неможлива, а також відсутність розподілення витрат енергії на енергопотребу і енергоспоживання, адже ці складові потрібно аналізувати під час оцінювання рівня енергоефективності під час виконання енергетичної сертифікації згідно вимог [14].

RETscreen програма, яка дозволяє швидко та інтуїтивно зробити розрахунок таких параметрів як: споживання теплової та електричної енергії, визначення втрат енергії, економічний розрахунок з визначенням дисконтованого терміну окупності пакету заходів з термомодернізації, підібрати сонячні панелі та вітрові станції, тощо. Проте цей програмний продукт має обмеження щодо урахування характеристик інженерних систем та обладнання. Також до недоліків можна віднести ручний розрахунок коефіцієнту опору теплопередачі зовнішніх стін без урахування неоднорідності конструкцій. Також потрібно зазначити на багатово меншу функціональність і обмеженість розрахованих параметрів в порівнянні з DesignBuilder.

Висновки. Застосування енергетичного моделювання при розробці проєктів з підвищення енергетичної ефективності будівлі навчального закладу дозволило визначити потенціал енергозбереження для різних вихідних умов, а саме відносно фактичного та базового рівня, що враховує нормативні умови експлуатації будівлі, її інженерних мереж і обладнання для забезпечення комфортних умов для якісного навчання студентів та роботи персоналу. В ході роботи оцінено переваги та недоліки застосування програмних продуктів DesignBuilder та RETscreen для будівлі навчального корпусу складної конфігурації та отримано практичний досвід їх застосування для розробки проєкту комплексної термомодернізації та модернізації інженерних систем.

References

Література

1. Bilous, I. Yu., Dешko, V. I., Sukhodub, I. O., Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2015). *Upravlinnia efektyvnosti enerhovikorystannia u vyshchukh navchalnykh zakladakh: monohrafiia* [Energy efficiency management in higher education institutions: monograph]. Kyiv: Politehnika. 188 p. [in Ukrainian].
2. Efficiency of using energy in housing sector, under the general editorship of A. M. Pavlenko. Politehnika Świętokrzyska. Kielce, 2020. 155 p.
3. ДБН В.2.6–31:2016 *Теплова ізоляція будівель* [Thermal insulation of buildings]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 33 p. [in Ukrainian].
4. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель [On approval of the Minimum requirements for energy efficiency of buildings]: Order of the Minrehion Ukrainy dated 27.10.2020 № 260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20> [in Ukrainian].
5. DSTU-N B A.2.2-12: 2015 *Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні* [Energy performance of buildings. Method for calculation of energy use for space heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Київ: Національний центр енергетичної ефективності будівель. 2015. 120 с.
1. Білоус І. Ю., Дешко В. І., Суходуб І. О., Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія. К.: Політехніка, 2015. 188 с.
2. Efficiency of using energy in housing sector, under the general editorship of A. M. Pavlenko. Politehnika Świętokrzyska. Kielce, 2020. 155 p.
3. ДБН В.2.6 – 31:2016 *Теплова ізоляція будівель*. Чинні від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006. Мінбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2016. 33 с.
4. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: Наказ Мінрегіонбуду від 27.10.2020 № 260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.
5. ДСТУ-Н Б А.2.2-12:2015 *Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні*. Національний

- heating, cooling, ventilation, lighting and domestic hot water]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 199 p. [in Ukrainian].
6. DSTU B EN 15251:2011 Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen dlia proektuvannia ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel po vidnoshenniu do yakosti povitria, teplovoho komfortu, osvittlennia ta akustyky [Estimated parameters of the microclimate of the premises for the design and evaluation of energy performance of buildings in relation to air quality, thermal comfort, lighting and acoustics]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 71 p. [in Ukrainian].
7. EN 15232:2007 Energy performance of buildings – Impact of building Automation, Controls and Building Management. CEN. European Committee for Standardization.
8. Crawley, D. B., Lawrie, L. K. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, Vol. 33, P. 319–331.
9. Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2019). Enerhoefektyvnyi kampus KPI: instrumenty ta metody doslidzhen [KPI energy efficient campus: tools and research methods]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Sciences Series*, No. 4 (136), P. 97–105 [in Ukrainian].
10. Deshko, V. I., Yevtukhov, V. Ia., Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2019). Enerhetychna osvita: dosvid zaluchennia Sluzhby enerhetychnoho menedzhmentu KPI im. Ihoria Sikorskoho u navchalnyi protses [Energy education: experience of involving the Igor Sikorsky KPI Energy Management Service in the educational process]. *Novyny enerhetyky = Energy news*, № 12, P. 9–17 [in Ukrainian].
11. Deshko, V. I., Sukhodub, I. O., Serdechnyi, P. Yu. (2019). Vykorystannia enerhetychnoho modeliuvannia budivel pry rozrobtsti proektiv z pidvyshchennia enerhoefektyvnosti [The use of energy modeling of buildings in the development of projects to improve energy efficiency]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Sciences Series*, No. 4 (136), P. 86–96 [in Ukrainian].
12. DSTU B V.2.6-189:2013 Metody vyboru teploizolatsiinoho materialu dlia utepлення budivel [Methods for choosing of insulation material for insulation of buildings]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 55 p. [in Ukrainian].
13. DSTU-N B V.1.1–27:2010 Budivelna klimatohiia [Protection against the dangerous geological processes, harmful operational influences, against the fire. Building climatology]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 123 p. [in Ukrainian].
- стандарт України. К.: Мінрегіон України, 2015. 199 с.
6. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. Національний стандарт України. К.: Мінрегіон України, 2011. 71 с.
7. EN 15232:2007. Energy performance of buildings – Impact of building Automation, Controls and Building Management. CEN. European Committee for Standardization, 2007.
8. Crawley D. B., Lawrie L. K. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*. 2001. Vol. 33. P. 319–331.
9. Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Енергоефективний кампус КПІ: інструменти та методи досліджень. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 4 (136). С. 97–105.
10. Дешко В. І., Євтухов В. Я., Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Енергетична освіта: досвід залучення Служби енергетичного менеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського у навчальний процес. *Новини енергетики*, 2019. № 12. С. 9–17.
11. Дешко В. І., Суходуб І. О., Сердечний П. Ю. Використання енергетичного моделювання будівель при розробці проєктів з підвищення енергоефективності. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 4 (136). С. 86–96.
12. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Національний стандарт України. К.: Мінрегіон України, 2013. 55 с.
13. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 Будівельна кліматологія. Національний стандарт України. К.: Укрархбудінформ, 2011. 123 с.

14. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel [On energy efficiency of buildings]: Law of Ukraine № 2118-VIII. Edited from 01.12.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.

14. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України № 2118-VIII. Редакція від 01.12.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.

SHOVKALIUK MARYNA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Department of Thermal Engineering and Energy Saving
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-1898-3493>
Scopus Author ID: 57219312472
E-mail: madam@online.ua

VASHCHYSHYN ROMAN

Student, Department of Thermal
Engineering and Energy Saving
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5564-9136>
E-mail: vashchyshyn.roman1@gmail.com

ШОВКАЛЮК М. М., ВАЩИШИН Р. Л.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Украина

**АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА
СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ С РАЗРАБОТКОЙ ПРЕДЛОЖЕНИЙ
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Существует много подходов к оценке энергетической эффективности зданий. В Украине ранее при разработке энергетического паспорта зданий применялась методика, которая основывалась на стационарных расчетах с использованием градусо-суток отопительного периода. Затем для задач энергетической сертификации зданий было введено национальную методику расчета на базе месячного квазистационарного метода. Упрощенный почасовой метод расчета позволяет учитывать тепловую инерционность ограждений. В последние годы все большую актуальность приобретают методы динамического энергетического моделирования с использованием программных комплексов, ведь это позволяет еще на этапе предварительного проектирования оценивать энергетические затраты на различные нужды здания до и после внедрения проектов по повышению энергоэффективности и предоставляет возможность создания 3D-модели с учетом геометрических и теплотехнических параметров, задачи различных конфигураций и типов инженерных системы здания. Для построения энергетической модели был выбран учебный корпус для определения показателей энергопотребления и выявления мероприятий, которые оказывают наибольшее влияние на энергетические характеристики здания.

Цель. Оценка энергетических характеристик учебного корпуса учреждения высшего образования с моделированием энергопотребления в специализированном программном обеспечении, техническая и экономическая оценка возможностей повышения уровня энергоэффективности.

Методы исследования. Выполнено энергетическое обследование объекта исследования и технико-экономический анализ с использованием инженерных методик расчета, экспериментальные измерения параметров микроклимата здания с применением лабораторного оборудования. Применяются моделирования в специализированных программных продуктах RETScreen, EnergyPlus, DesignBuilder.

Результат. С помощью разработанных моделей получено структуру энергопотребления учебного корпуса и проведена оценка потенциала энергосбережения; в случае внедрения предложенных мероприятий ожидается снижение потребления энергетических ресурсов и денежных затрат на их оплату, а также повышение качества предоставления образовательных услуг. Исследование проводилось в рамках работы над магистерской диссертацией.

Научная новизна. Рассмотрены технический потенциал указанного программного обеспечения для моделирования энергетических характеристик зданий сложной конфигурации на примере учебного корпуса учебного заведения, проанализированы методы обработки исходных данных для программ,

приведен сравнительный анализ результатов расчетов для фактического состояния здания, базового уровня и после внедрения комплекса энергосберегающих мероприятий.

Практическая значимость. В результате проведения исследования определены потенциал использования различных программных комплексов для выполнения прикладных исследований магистерской диссертации и разработаны проект комплексной термомодернизации здания учебного корпуса №5.

Ключевые слова: энергопотребление; энергетическая эффективность; термомодернизация; учебный корпус; моделирование.

SHOVKALIUK M. M., VASHCHYSHYN R. L.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

**ANALYSIS OF ENERGY CHARACTERISTICS OF THE STUDY BUILDING
OF THE COMPLEX CONFIGURATION WITH THE DEVELOPMENT
OF PROPOSALS FOR TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY**

There are many approaches to assessing the energy performance of buildings. In Ukraine, previously, when developing the energy passport of buildings, a method based on stationary calculations using degree-days of the heating period was used. Then, for the tasks of energy certification of buildings, a national calculation method based on the monthly quasi-stationary method was introduced. The simplified hourly method of calculation allows to consider thermal inertia of protections. In recent years, the methods of dynamic energy modeling using software packages have become increasingly relevant, because it allows at the preliminary design stage to estimate energy costs for different building needs before and after the implementation of energy efficiency projects and provides the ability to create 3D models based on geometric and thermal parameters, tasks of different configurations and types of engineering systems of the building. To build an energy model, a training building was chosen to determine energy consumption indicators and identify measures that have the greatest impact on the energy performance of the building.

Purpose. Evaluation of energy characteristics of the educational building of a higher education institution with modeling of energy consumption in specialized software, technical and economic evaluation of opportunities to increase energy efficiency.

Research methods. Energy inspection of the object of research and technical and economic analysis with the use of engineering methods of calculation, experimental measurements of the parameters of the microclimate of the building with the use of laboratory equipment were performed. Simulations are used in specialized software products RETScreen, EnergyPlus, DesignBuilder.

Result. With the help of the developed models the structure of energy consumption of the educational building is obtained and the assessment of energy saving potential is carried out; in case of implementation of the proposed measures it is expected to reduce the consumption of energy resources and monetary costs for their payment, as well as improve the quality of educational services. The research was conducted as part of a master's thesis.

Scientific novelty. The technical potential of this software for modeling the energy performance of a building of complex configuration on the example of the educational building of the educational institution, analyzed the methods of processing initial data for programs, comparative analysis of calculation results for the actual condition of the building, baseline and after implementing energy saving measures.

Practical significance. As a result of the research, the potential of using different software packages to perform applied research of the master's dissertation was determined and a project of complex thermal modernization of the building of the educational building was developed.

Keywords: energy consumption; energy efficiency; thermal modernization; educational building; modeling.