

УДК 624.04

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280223.66.920

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ ВІМ

НАЗАРЕНКО О. М.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,

БЕЙНЕР Н. В.<sup>2</sup>, канд. техн. наук,

БЕЙНЕР П. С.<sup>3\*</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (066) 783-98-55, e-mail: [bud.zntu@gmail.com](mailto:bud.zntu@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-3738-1129

<sup>2</sup> Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (050) 670-68-07, e-mail: [beynern@icloud.com](mailto:beynern@icloud.com), ORCID ID: 0000-0002-6695-577X

<sup>3\*</sup> Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (066) 471-40-00, e-mail: [beyner@gmail.com](mailto:beyner@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-3488-767X

**Анотація. Постановка проблеми.** Проектування енергоефективних будинків вимагає дотримання низки критеріїв. Застосування енергоефективних конструкцій та будівельних матеріалів, використання енергоефективних інженерних рішень та високопродуктивного обладнання дозволяє досягти зниження ресурсоспоживання будівлі більше ніж удвічі. Але важливо індивідуально підібрати та визначити характеристики. Тому об'єкт нерухомості насамперед має бути правильно спроектований. Розраховані конструкції, зважено підібрані будівельні матеріали та точні розрахункові дані, одержані в теплотехнічних калькуляторах, не гарантують отримання теплоізоляційної та пароізоляційної оболонки без розривів. Через складність об'єкта будівництва виявити теплові мости та врахувати слабкі місця проблематично без комплексного підходу до проектування майбутньої будівлі. Також треба врахувати особливості клімату, географічного розташування та рельєфу місцевості. Щоб зважено вибрати оптимальне проектне рішення, необхідно приймати великий масив даних, що мають відношення до показників енергоефективності. У класичних системах проектування подібна інформація не відображається і не аналізується. Провести оцінювання енергоефективності проекту дуже складно. Радикально спростити завдання проектування енергоефективних будівель дозволяє технологія інформаційного моделювання будівель, або ВІМ. **Мета статті** – обґрунтувати використання сучасних програм на основі ВІМ-технологій на етапі проектування енергоефективних будинків, визначення критеріїв для вибору програмного комплексу, який дозволить виконати моделювання будівлі, розрахувати показники енергоефективності, проаналізувати теплові мости, візуалізувати результати та оформити пакет робочої документації в рамках однієї програми. Продемонструвати високодеталізовану тривимірну модель будівлі, максимально збагачену інформацією: даними про показники теплопровідності будівельних матеріалів та технічними характеристиками обладнання.

**Ключові слова:** ВІМ-технології; інформаційне моделювання будівель; Archicad; проектування; енергоаналіз; енергоефективність

## INTEGRATED APPROACH TO ENERGY EFFICIENT BUILDING DESIGNING BASED ON BIM

NAZARENKO O.M.<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

BEINER N.V.<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.),

BEINER P.S.<sup>3\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.)

<sup>1</sup> Department of Construction Production and Project Management, Zaporizhia Polytechnic National University, 64, Zhukovskoho St., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (066) 783-98-55, e-mail: [bud.zntu@gmail.com](mailto:bud.zntu@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-3738-1129

<sup>2</sup> Department of Construction Production and Project Management, Zaporizhia Polytechnic National University, 64, Zhukovskoho St., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (050) 670-68-07, e-mail: [beynern@icloud.com](mailto:beynern@icloud.com), ORCID ID: 0000-0002-6695-577X

<sup>3\*</sup> Department of Construction Production and Project Management, Zaporizhia Polytechnic National University, 64, Zhukovskoho St., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (066) 471-40-00, e-mail: [beyner@gmail.com](mailto:beyner@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-3488-767X

**Abstract. Problem statement.** The design of energy efficient buildings requires compliance with a number of criteria. The use of energy efficient constructions and building materials, the use of energy efficient engineering solutions and high performance equipment can more than halve a building's resource consumption. But it is important to select and define the characteristics individually. A real estate object must therefore, first of all, be designed correctly. Calculated designs, reasonably selected building materials and correct calculations from thermal engineering calculators do not guarantee obtaining a heat-insulating and vapor-insulating envelope without gaps. Due to the complexity of the construction object, it is problematic to identify thermal bridges and take into account weak points without an integrated approach to the design of the future building. The climate, geographical location and terrain must also be taken into account. In order to carefully select the optimal design solution, it is necessary to take a large array of data related to energy efficiency indicators. In classic design systems, such information is not displayed or analyzed. It is very difficult to assess the energy efficiency of the project. The technology of building information modeling, or BIM, makes it possible to radically simplify the task of designing energy efficient buildings. *The purpose of the article* is to substantiate the use of modern programs based on BIM technologies at the stage of energy efficient building design, to determine the criteria for selecting a software complex that will allow you to perform building simulation, calculate energy efficiency indicators, analyze thermal bridges, visualize the results, and issue a package of working documentation within the framework of one program. Demonstrate a highly detailed three-dimensional model of the building enriched with maximum information: data on the thermal conductivity of building materials and technical characteristics of equipment.

**Keywords:** BIM technologies; information modeling of buildings; Archicad; designing; energy analysis; energy efficiency

**Постановка проблеми.** Існує безліч комп'ютерних програм та додатків для розрахунку енергоефективності будівель. Методики розрахунку та теплотехнічні онлайн-калькулятори дозволяють визначити основні характеристики та необхідну товщину утеплення в огорожувальних конструкціях [1].

В основі вхідних даних лежить необхідний опір теплопередачі. Враховується конкретна геолокація об'єкта проектування, а також будівельна система з урахуванням термічних неоднорідностей конструкцій. Все це дозволяє досить точно обчислити потрібну товщину теплоізоляційного шару [2; 3].

Окремі програми дають змогу не тільки проводити розрахунок, а й наочно візуалізувати результат. У програмі моделювання двовимірної теплопередачі Therm можна виконувати теплотехнічний розрахунок різних конструкцій. Графічне відображення ізотерм показує проблемні місця та містки холоду. Розрахункові значення наведеного опору теплопередачі конструкції обчислюється з похибкою не більше  $\pm 5\%$ , що відповідає нормам проектування.

Однак існує низка проблем. Багато онлайн-калькуляторів розроблені фахівцями СНД. У них не закладено кліматичних характеристик для України. Інші програми

досить складні для розуміння, вимагають занурення та великих витрат часу для підготовки вхідних даних. Окремі програми не дозволяють побачити цілісну картину під час проектування будівель та виявити проблемні місця.

До принципів енергоефективності належить низка критеріїв [4]:

- правильна орієнтація зі сторін світу;
- урахування кліматичних та геодезичних особливостей плями забудови;
- вибір ефективного архітектурного рішення з підвищеною компактністю форми будівлі;
- правильний вибір планувальних рішень із розташуванням житлових приміщень;
- обмеження коефіцієнта застіблення фасадів на рівні 18–20 %;
- масивна теплоізоляція;
- конструювання без теплових мостів, однорідність;
- енергоефективні вікна;
- герметичність будівельних конструкцій та вузлів примикання;
- примусова вентиляція з рекуперацією.

Правильно розраховані конструкції, раціонально підібрані будівельні матеріали та точні розрахункові дані, одержані в теплотехнічних калькуляторах, не

гарантують отримання теплоізоляційної та пароізоляційної оболонки без розривів. Через складність об'єкта будівництва виявити теплові мости та врахувати слабкі місця проблематично без комплексного підходу до проектування майбутньої будівлі.

**Мета роботи** – визначити оптимальні інструменти та засоби комп'ютерної техніки для комплексного підходу до проектування енергоефективних будівель в Україні та обґрунтувати важливість використання BIM-технологій.

**Основна частина.** Наразі єдино адекватним та раціональним підходом до проектування енерго-ефективного будинку стало розроблення BIM-моделі. Необхідно правильно підібрати програмний комплекс, який дозволить виконати моделювання будівлі, розрахувати показники енергоефективності, візуалізувати результати та оформити пакет робочої документації. Важлива умова – визначення засобів комп'ютерної техніки, які включені до однієї програми. Це суттєво заощадить витрати на придбання ліцензій.

Заявленим вимогам відповідає Archicad від компанії Graphisoft. У це програмне забезпечення вже впроваджено модуль для оцінювання енергоефективності та моделювання теплових мостів (рис. 1).

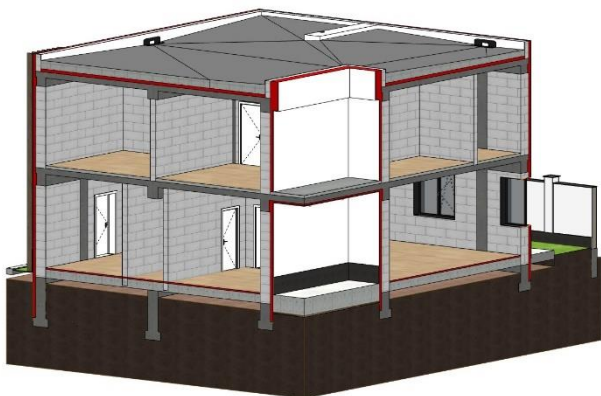


Рис. 1. 3D розтин BIM- моделі будинку

Розроблення BIM-моделі на етапі проектування будинку суттєво зменшує капітальні витрати під час будівництва та забезпечує можливість отримати енергоефективну будівлю, яка відповідає заявленим показникам.

Створення інформаційної моделі будівлі дозволить:

1. Прив'язати будинок до точної геолокації, вказуючи широту, довготу, часовий пояс та висоту щодо рівня моря. Інтерактивна геоприв'язка до Google Maps – важлива складова для отримання додаткових даних.

2. Змоделювати будівлю в об'ємі та знайти її оптимальну форму.

3. Продумати кілька сценаріїв планувальних рішень у рамках одного проекту.

4. Здійснювати аналіз теплових мостів. 2D-імітація теплових зон доступна для будь-яких вузлів та деталей, створюваних у проектах Archicad. Це дозволяє виявити місця утворення конденсату та інших небажаних ефектів. Візуальні результати імітації теплових мостів можна розмістити на макетах та включити до складу проектної документації.

5. Швидко вносити зміни до конструктивних вузлів.

6. Розрахувати теплові втрати.

7. Вносити коригування у конструкцію багатошарових стін, перекриттів, фундаменту чи покрівлі у разі незадовільних результатів розрахунку з наступним автоматичним оновленням пов'язаних креслень та каталогів.

8. Перевірити безперервність теплоізоляційної та пароізоляційної оболонки шляхом простого розрізу.

9. Використовувати готову базу даних будівельних матеріалів із фізичними властивостями: теплопровідність, щільність, теплоємність, енерговитрати, викид вуглецю тощо.

10. Сформувати об'ємні вузли, що потребують підвищеної точності під час будівництва.

11. Підготувати креслення, пов'язані з моделлю будівлі.

12. Вносити зміни до проекту на будь-якій стадії проектування без істотних переробок документації.

#### **Критерії енергоефективності:**

– питома витрата корисного холоду  $\leq 15$  кВт·год/(м<sup>2</sup>г);

- витрата електричної енергії трохи більше  $0,45 \text{ Вт/м}^3$ ;
- питома витрата тепла на опалення  $\leq 15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ ;
- або опалювальне навантаження  $\leq 10 \text{ Вт/м}^2$ ;
- питома витрата первинної енергії  $\leq 120 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ ;
- вентиляція з рекуперацією тепла  $\geq 75 \%$ ;
- частота перегріву  $\leq 10 \%$ ;
- кратність повітрообміну (повітропроникність):  $n 50 \leq 0,6 \text{ год}^{-1}$ ;
- потрібне скління:  
 $U_w \leq 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$   
 $g = 50\text{--}55 \%$ ;
- теплоізоляція:  
 $U \leq 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$   
 $R \geq 6,7 (\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$   
 $U_w \leq 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$   
 $R_{\text{окон}} \geq 1,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ ;
- без теплових мостів.

У проектуванні будівлі слід враховувати тепловтрати, які можуть бути трансмісійні: через стіни, дах, підвал, вікна та фільтраційні – через нещільність в оболонці будівлі та системі вентиляції [5].

Роль матеріалів, що блокують або сильно послаблюють механізм трансмісійної теплопередачі, в сучасній будівельній практиці зазвичай виконують теплоізоляційні матеріали. Тому важливо правильно підібрати багат шарову конструкцію та визначити оптимальну товщину для кожного будівельного матеріалу [6].

В Archicad є можливість використовувати багат шарові конструкції для стін, перекриттів та дахів. Це дозволяє комбінувати будівельні матеріали, гнучко змінювати товщину шару і наочно відображати результат, що особливо актуально під час графічного представлення теплоізоляційних матеріалів. За такого підходу на розрізі в об'ємі видно, де розміщується утеплювач (рис. 2).

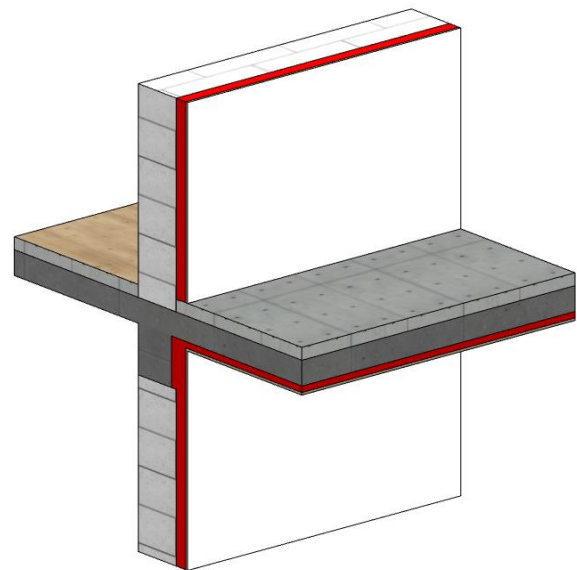


Рис. 2. Багат шаровість конструкції в 3D

Користувач має можливість самостійно підібрати будівельні матеріали, вказати їх товщину, а також задати фізичні властивості із бази даних (рис. 3). Це виключає необхідність користуватися довідковою інформацією з інших джерел.

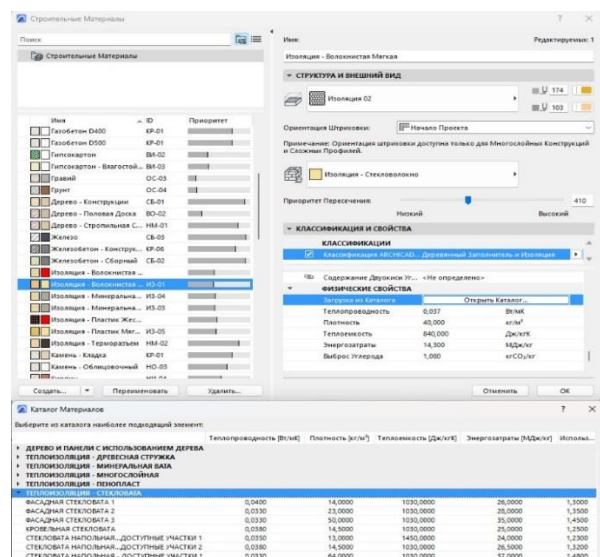


Рис. 3. База фізичних характеристик будівельних матеріалів

### Тепловий міст

Розглянемо приклад моделювання теплового моста за допомогою BIM.

Тепловий міст – це ділянка огорожувальної конструкції, яка має нижчий опір теплопередачі. Тепловий міст виникає у вузлах примикання будівельних конструкцій.

Найчастіше це:

- балконні плити;
- примикання віконних блоків;
- плити козирків над входними групами;
- покрівельні парапети;
- фасадні дюбелі та кронштейни.

Слід зазначити, що в BIM-моделі будівлі 2D креслення вузла вилучається автоматично з об'єму. Отже користувач не витрачає час на додаткове креслення. В аналізі бере участь фрагмент безпосередньо з моделі.

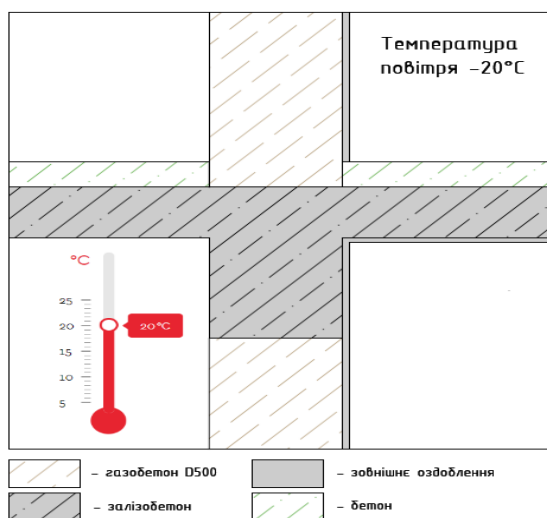


Рис. 4. Конструктивний вузол примикання балконної плити

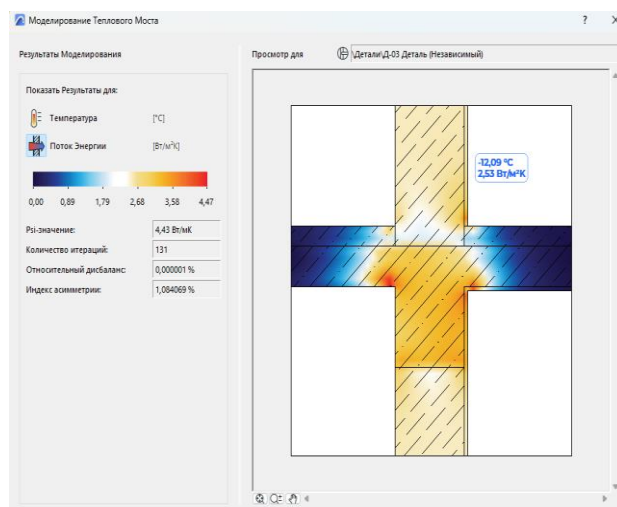


Рис. 5. Моделювання теплового моста

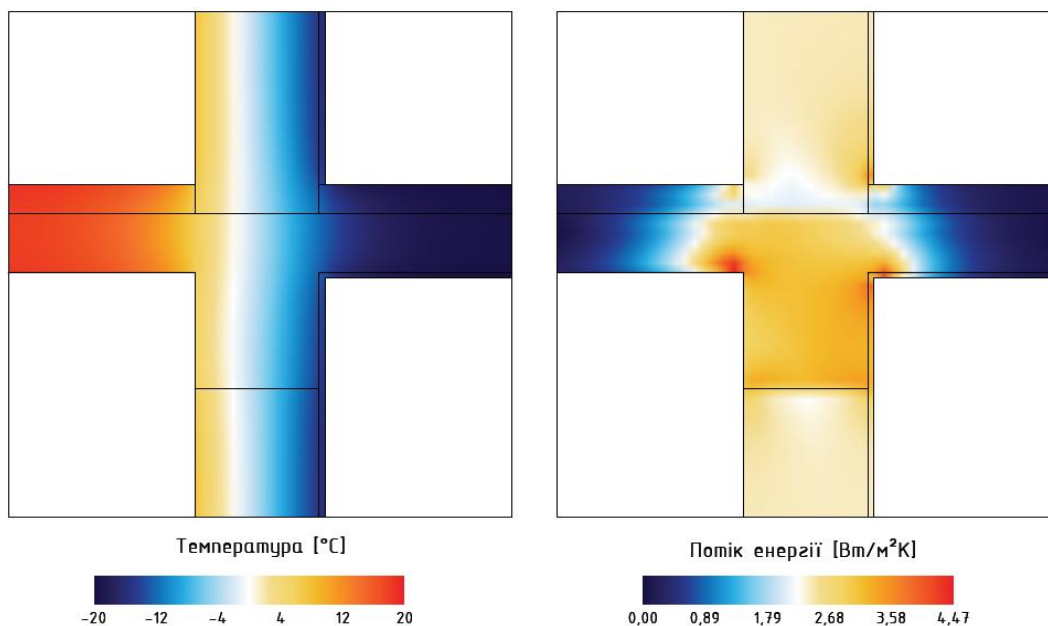


Рис. 6. Графічна візуалізація розподілу температур та потоку енергії

Конструкція зовнішніх стін представляє газобетон D500 без додаткового утеплювача. Залізобетонне перекриття також містить теплоізоляційних матеріалів (рис. 4). Температура зовнішнього повітря – +20 °С. Температура приміщення +20 °С. На рисунках 5–6 видно, що запропонований тип конструкції формує місток холоду, а це не відповідає вимогам, які висувуються до енергоефективних будівель.

Виконаємо утеплення зовнішньої стінки. Товщина шару 100 мм. У місці примикання

залізобетонної балки збільшимо товщину базальтового утеплювача на 50 мм. Цей вузол в об'ємі наведено на рисунку 2, а його 2D-проекція – на рисунку 7.

За такого підходу та аналогічних кліматичних характеристик на рисунку 8 бачимо адекватний розподіл температур та промерзання стін. Швидкий аналіз та комп'ютерний прорахунок дозволяють обґрунтовано приймати рішення щодо доцільності запропонованих конструктивних рішень.

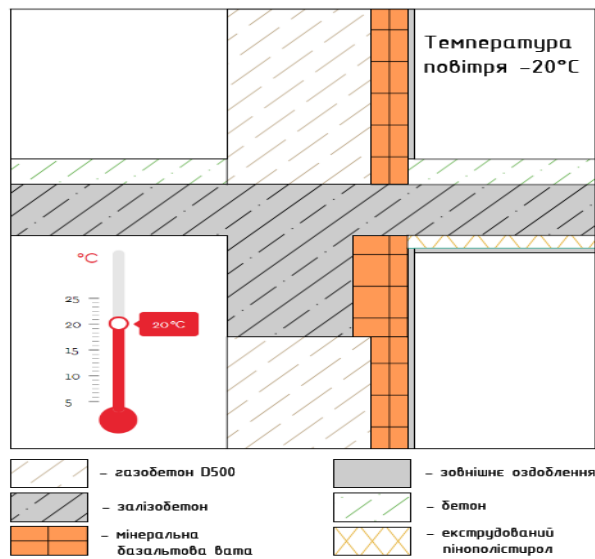


Рис. 7. Конструктивний вузол примикання балконної плити з базальтовим утеплювачем

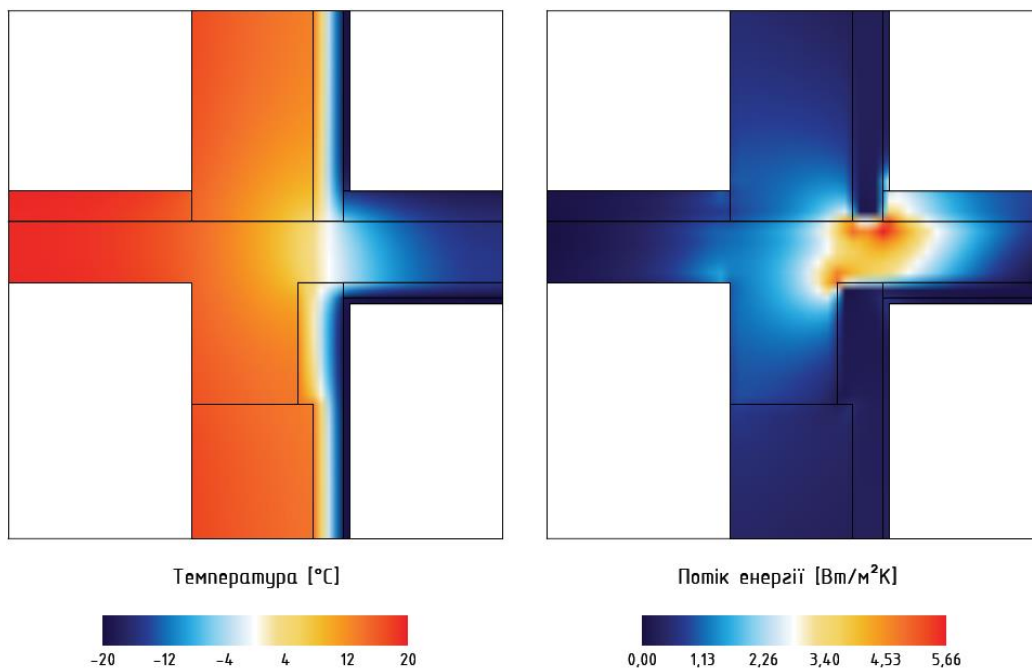


Рис. 8. Графічна візуалізація розподілу температури та потоку енергії в конструкції з утеплювачем



**Висновки.** У будівництві слід використовувати всі переваги енергетичного моделювання. Процес проектування пасивних будівель та об'єктів зі зниженим споживанням енергії став значно простішим завдяки механізму енергетичної імітації у середовищі Archicad, яка підтримує BIM-технологію.

Розроблена BIM-модель у повному обсязі включає фізико-експлуатаційні властивості огорожувальних конструкцій будівель. Враховується затінення, тип опалення та вентиляції.

Рішення, прийняті на ранніх стадіях проектування, визначають до 80 % енергетичних показників будівель. Технології, реалізовані в Archicad, які входять до стандартної комплектації, дозволяють швидко оцінювати енергоефективність та виконувати повний енергетичний аналіз, який відповідає міжнародним стандартам.

Енергетичний аналіз BIM-моделі в Archicad має такі ступені:

1. Віртуальний будинок використовується для введення первинної інформації.

2. Автоматичний аналіз моделі на основі отриманих даних про геометрію та застосовані будівельні матеріали. Ця модель, яка відображається в 3D, доступна для подальшого редагування та налаштування.

3. Уведення додаткових даних, необхідних для початку енергетичного розрахунку.

4. Аналіз термічних мостів. Ця функція в Archicad дозволяє створювати вузли та деталі на основі інформаційної моделі будівлі. Потім застосовується технологія сітки для визначення точок імітації теплопередачі. Результати імітації можуть відображатись у вигляді температурних або енергетичних графіків. При наведенні курсора на графік відображаються точні значення у конкретній точці кожного вузла. За допомогою цієї функції проектувальник легко може визначити місця можливих тепловтрат, випадання конденсату та інші небажані ефекти. Наразі це одна із найшвидших технологій розрахунку. На виконання динамічної енергетичної імітації потрібно лише кілька хвилин.

5. Формування звіту. Параметри отриманих результатів розрахунків можна легко налаштувати та зберегти у форматі PDF або таблиці Excel. Сформований звіт міститиме річне енергоспоживання та термоблоки будівлі зі своїми характеристиками, графік оцінки енергетичної продуктивності з поділом по енергопотоках, дані з енерговтрат, а також дані про інженерні системи будівель. Докладна деталізація звітів дає можливість не лише оцінити енергоефективність усієї будівлі в цілому, а й оптимізувати проектні рішення для окремих просторів.

Саме такий комплексний підхід до розрахунку і проектування енергоефективних будівель в Україні визначає необхідність упровадження BIM-технологій в будівництво.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. New technologies in the service of construction : BIM, instrumentation, nanomaterials [Текст з екрану]. URL: [https://www.scor.com/sites/default/files/focus\\_nouvelles\\_technologies\\_hd.pdf](https://www.scor.com/sites/default/files/focus_nouvelles_technologies_hd.pdf) (дата звернення : 15.01.2022).
2. Чашин Д. Ю., Дикарев К. Б. Розвиток систем SAPR-ASUB на основі комплексних інформаційних моделей. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування*. 2018. С. 212–217.
3. Сопільняк А. М., Колохов В. В., Ярова Т. П., Серета С. Ю., Сіренко К. О., Дунда В. В. BIM-енергоаналіз будинку з подвійними вікнами. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 3. С. 107–115.
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Київ : Держстандарт України, 2015. 140 с.
5. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. Київ : Мінрегіон України, 2018. 19 с.

6. Сопільняк А. М., Титюк А. А., Ярова Т. П., Серeda С. Ю., Вершкова Ю. С. Визначення раціонального звису покрівлі вітражного фасаду за допомогою BIM-технологій. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 2. С. 100–108.

## REFERENCES

1. Nouvelles technologies au service de la construction : BIM, instrumentation, nanomatériaux (Text from the screen). URL: [https://www.scor.com/sites/default/files/focus\\_nouvelles\\_technologies\\_hd.pdf](https://www.scor.com/sites/default/files/focus_nouvelles_technologies_hd.pdf) (date of application : 15.01.2022) (in French).
2. Chashyn D.Yu. and Dikarev K.B. *Rozvytok system SAPR–ASUB na osnovi kompleksnykh informatsiynykh modelei* [Development of CAD systems–systems on the basis of integrated information models]. *Budivnytstvo. Materialoznavstvo. Mashynobudivnytstvo* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2018, pp. 212–217. (in Ukrainian).
3. Sopilniak A.M., Kolokhov V.V., Yarova T.P., Sereda S.Yu., Sirenok K.O. and Dunda V.V. *BIM-enerhoanaliz budynku z podviynymy viknamy* [BIM energy analysis of a house with double windows]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2021, no. 3, pp. 107–115. (in Ukrainian).
4. *DSTU B A.2.2-12:2015. Energetychna efektyvnist budivel. Metod rozraxunku energospozhy vannyapry opalenni, oxolodzhenni, ventylyaciyi, osviltenni ta garyachomu vodopostachanni* [Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Kyiv : State Standard of Ukraine, 2015, 140 p. (in Ukrainian).
5. *DBN V.2.6-33:2018. Konstrukciyi zovnishnix stin iz fasadnoyu teploizolyaciyeyu. Vymogy do proektuvannya* [Designs of external walls with facade thermal insulation. Design requirements]. Kyiv : Minrehion Ukrainy Publ., 2018, 19 p. (in Ukrainian).
6. Sopilniak A.M., Tytiuk A.A., Yarova T.P., Sereda S.Yu. and Vershkova J.S. *Vyznachennya ratsional'noho zvyysu pokrivli vitrazhnoho fasadu za dopomohoyu BIM-tekhnologiy* [The value of a rational roof overhang over a stained-glass facade using bim technologies]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 2, pp. 100–108. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 21.01.2023.