

**ДИНАМІЧНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ БУДІВЛІ ПІД ВПЛИВОМ ЗМІНИ  
ТЕПЛОІНЕРЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБОЛОНКИ БУДІВЛІ ТА  
РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ**

*В. І. Дешко, доктор технічних наук, професор*

*І. Ю. Білоус, кандидат технічних наук, доцент*

*Г. О. Гетманчук, PhD*

*М. В. Гурєєв, аспірант (науковий керівник І. Ю. Білоус)*

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

*E-mail: [billoys\\_inna@ukr.net](mailto:billoys_inna@ukr.net)*

**Анотація.** Енергоефективність будівель є одним із ключових напрямів зменшення споживання енергії та викидів парникових газів. Оптимізація теплових потоків і режимів опалення сприяє підвищенню енергоефективності будівель та зниженню витрат на опалення.

Метою дослідження є проведення параметричного аналізу складових теплового балансу будівлі та теплових потоків у приміщеннях із різними теплофізичними властивостями.

Методи дослідження включають використання програмного забезпечення DesignBuilder, яке працює на базі платформи EnergyPlus. На базі цього програмного забезпечення було створено нестационарну мультizonну енергетичну модель багатоповислової будівлі, яка використовується для визначення складових енергетичного балансу репрезентативного приміщення при різних параметрах конструктивних елементів та режимах роботи опалювальної системи.

Результати дослідження показали, що енергоспоживання приміщень північної орієнтації на потреби опалення є в середньому на 34.8 % – 38.3 % вищим, ніж у приміщеннях південної орієнтації, залежно від товщини стін. Використання переривчастих режимів опалення дозволяє зменшити споживання теплової енергії до 19.9 %, залежно від товщини та типу будівлі. Також встановлено, що утеплення зовнішніх стін і заміна вікон на енергоефективні мають значно більший потенціал для зниження енергоспоживання, ніж зміна масивності внутрішніх стін. Одна з моделей південної орієнтації при постійному режимі опалення в січні продемонструвала зменшення витрат на опалення на 39.2 % порівняно з аналогічною моделлю без утеплення. Додаткове впровадження переривчастих режимів опалення дозволяє знизити споживання енергії ще на до 22.3 % для приміщень південної орієнтації та до 21.4 % для приміщень північної орієнтації.

Отримані результати можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо оптимального регулювання режимів опалення приміщень з різними

характеристиками зовнішніх та внутрішніх стін, що сприятиме підвищенню енергоефективності будівель.

**Ключові слова:** *EnergyPlus, динамічне моделювання, тепловтрати, сонячні теплонадходження, кліматичні данні, енергоефективність*

**Актуальність.** Енергозбереження є одним з найважливіших завдань сучасності. Зростаючі ціни на енергоносії та необхідність зменшення викидів парникових газів вимагають пошуку нових способів підвищення енергоефективності будівель. енергозбереження, яке можна досягти за допомогою точного енергетичного проектування будівель, є дуже актуальним як для нових будівель, так і для реконструкції

На будівельний сектор припадає близько 40 % кінцевого споживання енергії і 36 % викидів парникових газів у Європі [1]. Це пов'язано з тим, що будівлі потребують енергії для опалення, охолодження, освітлення та інших енергоспоживаючих процесів протягом усього їхнього життєвого циклу і сумарно експлуатаційні витрати енергії сягають 60 % [2].

Одним із найважливіших факторів, що впливають на енергоефективність будівель, є теплові потоки через зовнішні огорожувальні конструкції, які є одним із основних джерел втрат тепла в будівлях. Основними факторами, що впливають на тепловтрати через зовнішні стіни є орієнтація зовнішніх стін, масивність зовнішніх стін та режим роботи системи опалення.

Результати досліджень можуть бути використані для енергоефективної модернізації та реконструкції будівель, а також для створення ефективних систем терморегулювання, що підвищують комфорт та знижують енергоспоживання.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Оскільки кліматичні параметри впливають на теплові характеристики будівель та обсяги енергоспоживання будівель, важливим є розвиток ефективних стратегій регулювання та адаптації систем опалення.

У статті [3] наведені результати досліджень, що включають у себе умови прогнозування на основі врахування сонячних теплонадходжень у зону будівлі на прикладі типової 5-ти поверхової житлової будівлі міста Київ. Згідно матеріалів

статті використання графіку теплового навантаження з врахуванням сонячних теплонадходжень дозволяє зменшити споживання енергії на опалення на 37 % для північно-південної орієнтації вікон та на 28 % - для західно-східної.

Також дослідниками було проведено експериментальне порівняння впливу сонячних теплонадходжень на енергоспоживання між двома еквівалентними кімнатами з різною орієнтацією для умов Китаю [4]. Отримані результати показують, що врахування сонячних теплонадходження в приміщення південної орієнтації дозволяють економити до 8,5 % теплової енергії.

Для будівель Центральної та Східної Європи (до яких відноситься і Україна) характерними є будівлі з масивними зовнішніми стінами. Відповідно до національного стандарту України «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [5] вимоги мінімально допустимого значення приведенного опору теплопередачі для зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій для умов міста Києва становлять  $4,00 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Також згідно національного стандарту [5] при новому будівництві допускається зниження приведенного опору теплопередачі до рівня 80 % при умові дотримання інших показників енергетичної ефективності будівель, у тому числі питомого енергоспоживання будівлі при опаленні та охолодженні.

Дослідниками [6] було встановлено, що впровадження переривчастих режимів опалення в типових будівлях України дає змогу досягти економії теплової енергії близько 16–25 % залежно від орієнтації приміщень, глибини провалу і теплофізичних властивостей огороження. Ще одне дослідження [7] показало, що впровадження переривчастих режимів опалення призводить до скорочення споживання тепла до 13 % за весь опалювальний період. Для зимового періоду економія становить (8...10) %, для міжсезоння - до 25 %.

Проведення досліджень теплових потоків через зовнішні стіни за допомогою програмного забезпечення EnergyPlus дозволяє проводити динамічне енергетичне моделювання з врахуванням погодинних кліматичних даних.

У цілому, результати досліджень [1-4, 6-8] показали, що всі розглянуті фактори мають значний вплив на теплові перетоки через зовнішні стіни і результати

комплексного дослідження дозволять розробити стратегії для зменшення тепловтрат і енерговитрат будівель.

**Мета дослідження** – проведення параметричного аналізу факторів, що впливають на теплові потоки через зовнішні та внутрішні стіни будівель під впливом зміни масивності внутрішніх та зовнішніх стін, рівня теплозахисту та умов експлуатації.

**Матеріали та методи дослідження.** Для дослідження енергетичних характеристик будівлі було створено динамічні імітаційні моделі приміщення в програмному забезпеченні DesignBuilder [9], яке є графічним середовищем на базі платформи EnergyPlus [10].

Модель враховує інженерні системи опалення, охолодження, вентиляції, гарячого водопостачання та освітлення. Значну увагу приділено розрахунку споживання енергії на потреби опалення, які складають левову частку витрат. Система теплопостачання будівлі складається з підсистем теплопередачі, розподілу та генерації, які враховуються в моделі. На основі миттєвих енергетичних балансів зони будівлі розраховується навантаження на систему опалення. Часовий інтервал розрахунку в енергетичній моделі будівлі становить 15 хвилин.

При моделюванні теплових потоків через зовнішні стіни були враховані такі фактори: географічне розташування будівлі; кліматичні умови; характеристики будівельних матеріалів; масивність зовнішніх стін; орієнтація зовнішніх стін; режим роботи системи опалення.

Важливим елементом розрахунку теплового навантаження є врахування зовнішніх кліматичних змін, включаючи температуру навколишнього середовища та надходження сонячного тепла. У дослідженні були використані погодинні кліматичні дані для типового року з погодного файлу International Weather file for Energy Calculations (IWEC) для Києва, Україна [11], які безпосередньо використовуються програмним продуктом EnergyPlus [10].

Об'єктом дослідження є існуючий 12-поверховий житловий будинок, побудований у 1993 році в Києві. Будинок має 175 квартир із загальною кількістю

житлових кімнат - 431. Приміщення нижніх поверхів використовуються для офісних/комерційних цілей.

На рис. 1 показано енергодинамічну 3D-модель досліджуваної будівлі та план середнього розрізу типового поверху.



**Рис. 1. 3D модель та поверховий план досліджуваної будівлі в програмному середовищі DesignBuilder**

Стіни будівлі самонесучі, зведені з пустотілої керамічної цегли. Вікна - вінілові з потрійним заскленням. Внутрішні перекриття із залізобетонних плит товщиною 220 мм, оштукатурені з одного боку, обладнані звукоізоляцією та підлогою. Дах будівлі плоский. Внутрішні стіни з цегляної кладки товщиною 255 мм (в одну цеглину), оштукатурені з обох боків.

У будівлі використовується водяна радіаторна система опалення з верхньою розводкою. Гаряча вода подається з центральної тепломережі. У підвалі будівлі розташований тепловий пункт, де за допомогою елеватора знижується температура і тиск теплоносія перед подачею його до опалювальних приладів. Радіатори, розміщені в кожній кімнаті, передають тепло до приміщень шляхом конвекції та випромінювання.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для того, щоб провести більш детальний аналіз вищезазначених параметрів, дослідження було проведено на прикладі приміщення з варіантами житлового та комерційного використання. Було обрано репрезентативну кімнату в одній з центральних квартир та прилеглі до неї приміщення. Площа досліджуваного приміщення становить 14,82 м<sup>2</sup>. Площа

зовнішньої стіни (без урахування вікна) - 6,82 м<sup>2</sup>. Площа вікна (з урахуванням рами) - 1,5 м<sup>2</sup>. Досліджувана кімната межує з двома суміжними житловими кімнатами, окремим коридором та вбиральною. Пояснення назв моделей та схематичне представлення мінливості показано на рис. 2.

У моделюванні враховувалось пониження температури на 2 °С. Для житлових приміщень, коли мешканців зазвичай немає вдома, температура знижувалась до 18 °С між 8:00 та 18:00. Зниження температури вночі є доцільним для комерційних приміщень. Тому у репрезентативному комерційному приміщенні було розглянуто зниження температури у вихідні дні та вночі з 22:00 до 8:00 до 18°С.

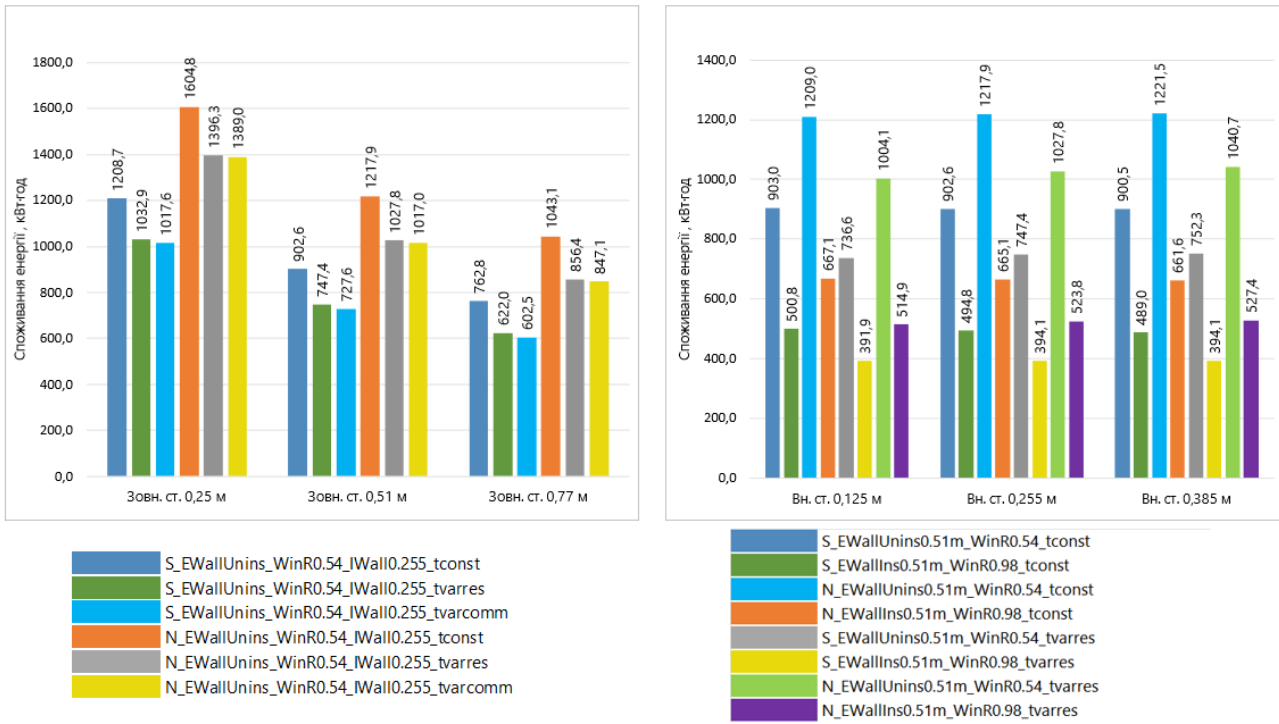
Для варіанту з термомодернізованою теплоізоляцією стіна була утеплена шаром мінеральної вати товщиною 0,1 м, а вікна були замінені на низькоефективні склопакети з двома шарами селективного покриття.

Назва моделі  
(e.g.: m-01\_S\_EWallUnins0.25m\_WinR0.54\_IWall0.255\_tconst)

| m-01   | S  | EWallUnins   | 0.25m  | WinR0.54   | IWall0.255  | tconst  |
|--|--|--|--|--|---|---|
| Порядковий номер моделі в групі  | Орієнтація зовнішніх стін  | Ізоляція зовнішніх стін  | Масивність зовнішніх стін  | Термічний опір вікон   | Масивність внутрішніх стін  | Режим роботи системи опалення   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1</li> <li>• 2</li> <li>• ...</li> <li>• n</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S – південна</li> <li>• N – північна</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неізовані (R = 0,82 (м<sup>2</sup>·К)/Вт)</li> <li>• Ізовані (R = 3,46 (м<sup>2</sup>·К)/Вт)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 цегли - 0,25 м</li> <li>• 2 цегли - 0,51 м</li> <li>• 3 цегли - 0,77 м</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• R = 0,54 (м<sup>2</sup>·К)/Вт</li> <li>• R = 0,98 (м<sup>2</sup>·К)/Вт</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,5 цегли - 0,125 м</li> <li>• 1 цегли - 0,255 м</li> <li>• 1,5 цегли - 0,385 м</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• tconst - незмінний температурний режим</li> <li>• tvarres - зменшення температури вдень</li> <li>• tvarcomm - зменшення температури вдень</li> </ul> |

**Рис. 2. Варіанти моделей та їх назви**

Отримані результати моделювання дозволяють провести оцінки впливу різних факторів на теплові потоки через зовнішні стіни. На рис. 3, а наведено споживання теплової енергії впродовж року для різних варіацій моделювання, де змінними параметрами є орієнтація приміщення, масивність зовнішніх стін, та режими опалення. Масивність внутрішніх міжкімнатних стін не змінюється і становить - 255 мм (одна цегла).



**Рис. 3. Річне споживання теплової енергії при постійній товщині внутрішньої стіни 0,25 м (а) та при постійній товщині зовнішньої стіни 0,51 м (б)**

З аналізу даної серії моделювань слідує, що збільшення масивності зовнішніх стін є більш ефективним для приміщень північної орієнтації. Адже річне споживання теплової енергії при зміні масивності зовнішніх стін з 250 мм до 770 мм для північної орієнтації зовнішньої стіни зменшилось на 35,7 %, а для південної орієнтації на 33,9 %, за умов постійного режиму опалення. При змінних режимах опалення ця закономірність зберігається.

Кімната з північною орієнтацією має більше річне споживання енергії на 22,63 % порівняно з кімнатою з південною орієнтацією для стін товщиною в одну цеглину, тоді як триразове збільшення товщини стін призведе до різниці у споживанні між кімнатами з південною і північною орієнтаціями на 25,64 %.

На рис. 3, б показано споживання теплової енергії протягом року для різних варіантів моделювання, де змінними є орієнтація приміщення, масивність внутрішніх стін та режими опалення. Товщина зовнішніх стін у цій серії моделювань не змінюється і становить 510 мм (дві цегли).

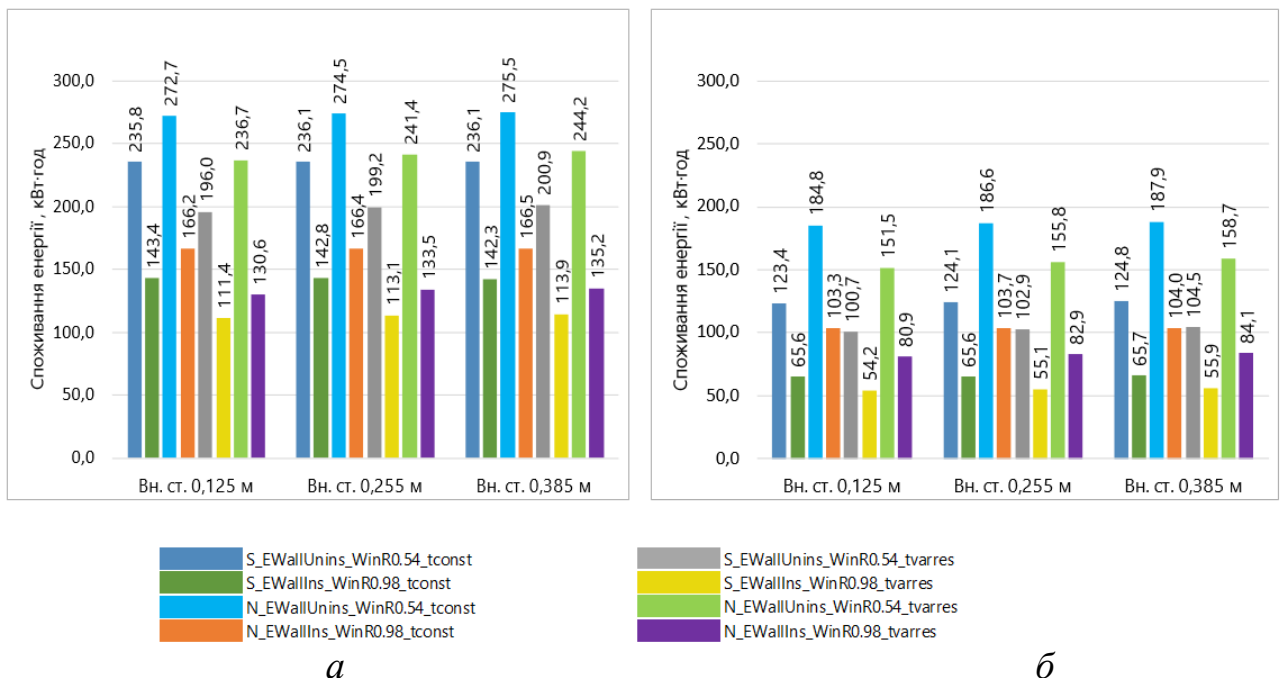
Аналіз цієї серії моделювань показує, що збільшення масивності внутрішніх стін має незначний вплив на річне споживання теплової енергії. Максимальне



відхилення відповідних показників між моделями, в яких міжкімнатні стіни відрізнялися лише масивністю, не перевищує 3,65 %.

При впровадженні заходів з термомодернізації спостерігається економія теплової енергії на 1-2 % при більшій масивності у всіх досліджуваних варіантах. Це пояснюється взаємодією між тепловою інерцією конструкцій та зменшенням тепловтрат через огорожувальні конструкції. Масивні внутрішні стіни, маючи значну теплову інерцію, здатні ефективніше акумулювати тепло і повільніше його віддавати. У поєднанні з утепленням це призводить до більш плавного розподілу теплових потоків і зниження пікових навантажень на систему опалення.

На рис. 4 наведено графіки для січня (а) та березня (б), які демонструють залежність споживання теплової енергії від зміни температурного режиму, орієнтації приміщення, масивності внутрішніх стін та наявності утеплення. Товщина зовнішніх стін в даній серії моделювань не змінюється і становить 510 мм (дві цегли).



**Рис. 4. Річне споживання теплової енергії при незмінній зовнішній стіні для січня (а) та березня (б)**

З рис. 4 видно, що споживання енергії є вищим у зимові місяці і зменшується в перехідні сезони. Зміна маси внутрішніх стін суттєво не впливає на загальне енергоспоживання, тоді як утеплення зовнішніх стін та заміна вікон на більш

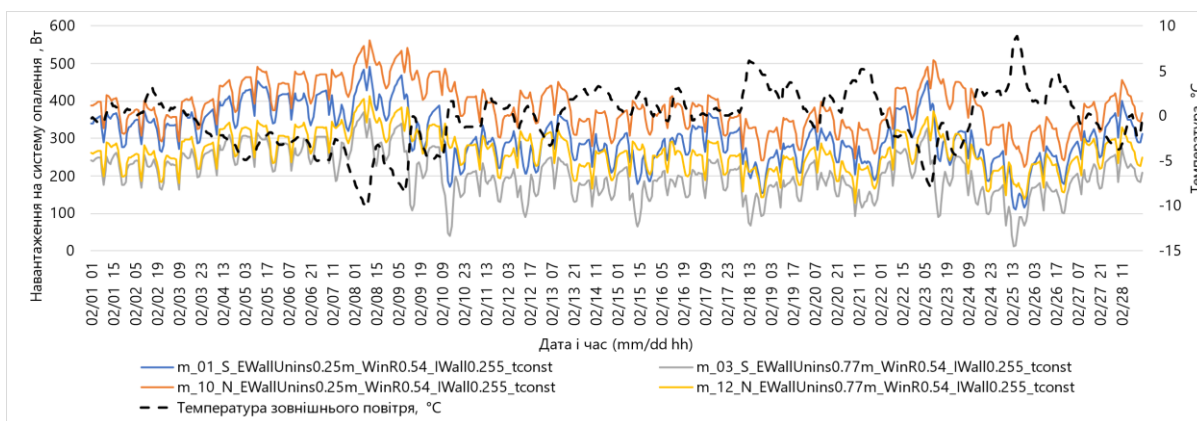


енергоефективні має більший потенціал для зменшення енергоспоживання будівлі. Наприклад, модель з кімнатою, що виходить на південну сторону, з утепленими зовнішніми стінами та заміненіми вікнами, товщиною внутрішніх стін 125 мм і постійним режимом опалення в січні споживає на 39,2 % менше енергії для опалення порівняно з аналогічною моделлю без утеплення зовнішніх стін. Різниця у споживанні енергії на опалення для аналогічних моделей з північною орієнтацією приміщень становить 39,1 %. Впровадження переривчастих режимів опалення дозволяє заощадити ще до 22,3 % для приміщень, орієнтованих на південь, і до 21,4 % для приміщень, орієнтованих на північ.

На рис. 5 наведено результати дослідження впливу орієнтації та товщини зовнішніх стін на навантаження на систему опалення в режимі постійного опалення (підтримується постійна температура повітря в приміщенні -  $t_{const}$ ) для лютого місяця.

Варто зазначити, що різниця в навантаженні на систему опалення між зовнішніми стінами з різною орієнтацією і масивністю зростає в абсолютному вираженні і зменшується у відносному вираженні зі зниженням температури зовнішнього повітря і сонячної активності. Слід зазначити, що в лютому спостерігався найвищий рівень сонячної активності та найбільші температурні коливання. Наприклад, 25 лютого максимальна середньодобова температура за місяць становила 4,6 °С, а теплоспоживання приміщення з південною орієнтацією - 4 429 Вт (1 цегла) і 2 466 Вт (3 цегли). Для приміщення з північною орієнтацією ці ж показники склали 7 020 Вт (1 цегла) і 4 560 Вт (3 цеглини).

Мінімальна середньодобова температура 8 лютого склала -8 °С. За такої температури споживання зросло до 10 058 Вт·год (1 цегла) і 7 214 Вт·год (3 цеглини) для південної орієнтації та 12 026 Вт·год (1 цегла) і 8 579 Вт·год (3 цеглини) для північної орієнтації приміщення відповідно.



**Рис. 5. Навантаження на систему опалення залежить від різних варіантів конструкції, орієнтації**

Реалізація заходів з термомодернізації огорожувальних конструкцій має значний вплив на навантаження на систему опалення. Відповідно, при утепленні зовнішніх стін з  $R=0,82 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  до  $R=3,46 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  та заміні вікон з  $R=0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  до  $R=0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  середньомісячне погодинне навантаження на систему опалення зменшиться на 39,5% для кімнат, що виходять на південь, та на 39,4% для кімнат, що виходять на північ, за умов постійного опалення.

У другій половині лютого температура зовнішнього повітря коливалася в межах від  $-8^\circ\text{C}$  до  $+8,9^\circ\text{C}$ , а також спостерігалось більше сонячних теплонадходжень, тому в окремі дні навантаження на систему опалення було відсутнє.

Річна економія теплової енергії завдяки використанню режимів зниження температури в житлових та комерційних приміщеннях порівняно з режимом постійного опалення в цих приміщеннях наведена в таблиці. Моделювання проводилося з урахуванням різної товщини зовнішніх стін.

**1. Річна економія теплової енергії за рахунок застосування режимів пониження температури**

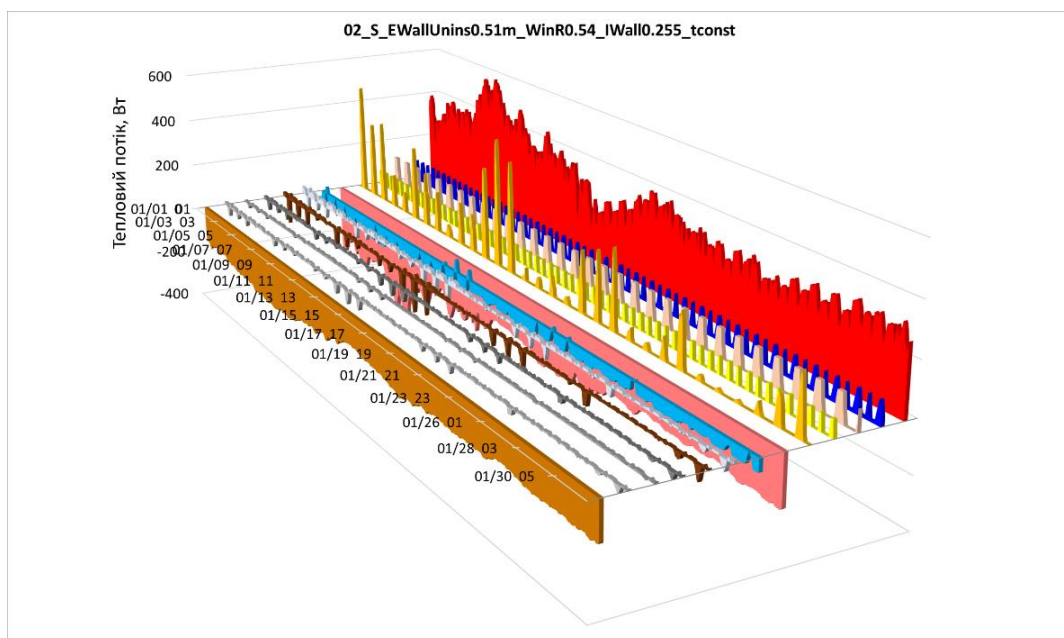
| Товщина кладки   |                 | 0.25 м  | 0.51 м  | 0.77 м  |
|--|-----------------|---------|---------|---------|
| Опір теплопровідності, ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ) |                 | 0.503   | 0.824   | 1.145   |
| Північ   | Житлова         | 12.66 % | 16.39 % | 16.78 % |
|  | Адміністративна | 16.26 % | 23.09 % | 27.72 % |
| Південь  | Житлова         | 29.70 % | 32.36 % | 33.90 % |
|  | Адміністративна | 36.05 % | 44.06 % | 48.65 % |

З даних таблиці видно, що зі збільшенням масивності зовнішніх стін відсоток економії завдяки використанню переривчастих режимів опалення також зростає. Водночас, для комерційних приміщень відсоток економії є вищим завдяки нижчим температурам у неробочий час. Річна економія теплової енергії в комерційних будівлях, орієнтованих на північ, вища, ніж у житлових будинках з такою ж орієнтацією, завдяки нижчим температурам у нічний час.

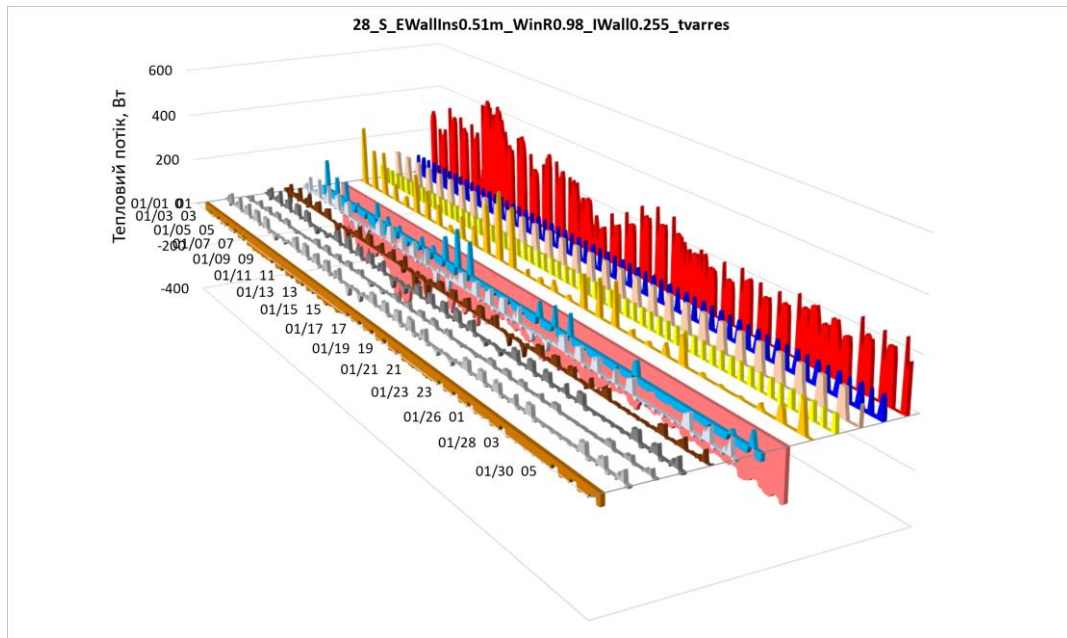
У роботі були проаналізовані місячні теплові баланси досліджуваної кімнати для північної та південної орієнтації для варіантів з утепленими та неутепленими зовнішніми стінами для періоду січня місяця з постійним та змінним режимами опалення. На рис. 6 наведено теплові баланси досліджуваного приміщення південної орієнтації, з неутепленою (рис. 6, а) та утепленою (рис. 6, б) зовнішніми стінами при постійному (рис. 6, а) та змінному (рис. 6, б) режимах опалення для кліматичних умов січня.

Застосування термомодернізації та впровадження переривчастих режимів опалення в комплексі дозволить зменшити загальне навантаження на систему опалення порівняно з неутепленою будівлею з постійним режимом опалення в січні на 52,1 %, а в березені і жовтні на 55,6 % і 90,6 % відповідно.

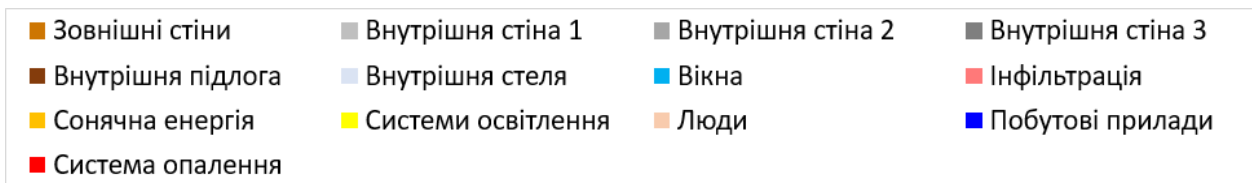
Втрати тепла внаслідок інфільтрації однакові для всіх випадків і становлять 162-167 кВт·год.



*a*



б



**Рис. 6. Тепловий баланс досліджуваного приміщення для кліматичних умов січня:**

- a* - південна орієнтація, неутеплена зовнішня стіна, змінний режим опалення  
*б* - південна орієнтація, утеплена зовнішня стіна, змінний режим опалення

**Висновки і перспективи.** Це комплексне дослідження надає систематичний і кількісний аналіз теплової динаміки в житлових і комерційних будівлях з урахуванням факторів, що впливають на теплові потоки через зовнішні та внутрішні стіни. Основний внесок дослідження полягає в складному параметричному дослідженні з використанням передових методів динамічного енергетичного моделювання, зокрема, з використанням програмного забезпечення EnergyPlus для точного моделювання теплових характеристик.

Основні наукові результати демонструють значний потенціал енергозбереження за рахунок оптимізації теплової оболонки. Зокрема, збільшення товщини зовнішніх стін та термічного опору може забезпечити до 40,1 % річної економії теплової енергії.

Комплексна термомодернізація, що включає утеплення стін та заміну віконних конструкцій, може зменшити навантаження на систему опалення майже на 40-50 %.

Визначено роль теплових потоків до внутрішніх опалювальних приладів у балансуванні рівня опалення при підтримці заданих температурних режимів внутрішнього повітря. Впровадження переривчастих режимів опалення дозволяє додатково скоротити споживання енергії на 15-23 %, залежно від інших характеристик.

Методологічна цінність дослідження полягає в розробці деталізованого підходу до параметричного моделювання теплових потоків з урахуванням погодинних кліматичних даних та комплексних взаємодій між архітектурними, конструктивними та експлуатаційними факторами.

Отримані результати мають важливе значення для архітектурного проектування, енергоефективної модернізації та реконструкції будівель, а також для розробки адаптивних систем терморегулювання.

#### **Список використаних джерел**

1. Asdrubali, F., Venanzi, D., Evangelisti, L., Guattari, C., Grazieschi, G., Matteucci, P., & Roncone, M. (2020). An Evaluation of the Environmental Payback Times and Economic Convenience in an Energy Requalification of a School. *Buildings*, 11(1), 12. doi:10.3390/buildings11010012
2. Buyak, N., Deshko, V., Bilous, I., Pavlenko, A., Sapunov, A., & Biriukov, D. (2023). Dynamic interdependence of comfortable thermal conditions and energy efficiency increase in a nursery school building for heating and cooling period. *Energy*, 283. doi:10.1016/j.energy.2023.129076
3. Deshko, V., Bilous, I., & Osadcha, M. (2021). Consideration of solar heat impact into the calculation methods of heat energy needs. *Energy and Automation*, 2(54), 26–38. doi:10.31548/energiya2021.02.026
4. Hajji, A., Lahlou, Y., & Abbou, A. (2022). Impact of Solar Gain on Energy Consumption and Thermal Comfort. In S. Bennani, Y. Lakhrissi, G. Khaissidi, A. Mansouri, & Y. Khamlichi (Eds.), *WITS 2020* (Vol. 745, pp. 723–733). Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-33-6893-4\_66
5. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. На заміну ДБН В.2.6-31:2016 ; чинний від 2022-09-01. Вид. Офіц. Київ, 2021. 23 с. (n.d.).
6. Deshko, V. I., Bilous, I. Yu., & Buyak, N. A. (2019). Influence of periodic heating modes on the dynamics of energy need and human thermal comfort for buildings with different thermal protection. *KPI Science News*, 0(4), 7–16. doi:10.20535/kpi-sn.2019.4.180731

7. Deshko, V., Bilous, I., Buyak, N., & Shevchenko, O. (2020). The Impact of Energy-Efficient Heating Modes on Human Body Exergy Consumption in Public Buildings. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 201–205. doi:10.1109/ESS50319.2020.9160270
8. Deshko, V., Bilous, I., Buyak, N., & Petruchenko, O. (2020). Analysis of the influence of energy efficient heating modes on buildings energy use basing on the mathematical modeling. POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology, 4. doi:10.20535/1813-5420.4.2020.233593
9. DesignBuilder. (n.d.). [Computer software]. DesignBuilder Software Ltd. <https://designbuilder.co.uk/>
10. EnergyPlus Energy Simulation Software. (n.d.). [Computer software]. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>
11. International Weather for Energy Calculations. (n.d.). [Dataset]. [https://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_6\\_Europe/UKR\\_Ukraine/index.html#IDK\\_C\\_Kiev\\_City-](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/UKR_Ukraine/index.html#IDK_C_Kiev_City-)

### Referenses

1. Asdrubali, F., Venanzi, D., Evangelisti, L., Guattari, C., Grazieschi, G., Matteucci, P., & Roncone, M. (2020). An Evaluation of the Environmental Payback Times and Economic Convenience in an Energy Requalification of a School. Buildings, 11(1), 12. doi:10.3390/buildings11010012
2. Buyak, N., Deshko, V., Bilous, I., Pavlenko, A., Sapunov, A., & Biriukov, D. (2023). Dynamic interdependence of comfortable thermal conditions and energy efficiency increase in a nursery school building for heating and cooling period. Energy, 283. doi:10.1016/j.energy.2023.129076
3. Deshko, V., Bilous, I., & Osadcha, M. (2021). Consideration of solar heat impact into the calculation methods of heat energy needs. Energy and Automation, 2(54), 26–38. doi:10.31548/energiya2021.02.026
4. Hajji, A., Lahlou, Y., & Abbou, A. (2022). Impact of Solar Gain on Energy Consumption and Thermal Comfort. In S. Bennani, Y. Lakhrissi, G. Khaissidi, A. Mansouri, & Y. Khamlichi (Eds.), WITS 2020 (Vol. 745, pp. 723–733). Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-33-6893-4\_66
5. DBN V.2.6-31:2021. Thermal Insulation and Energy Efficiency of Buildings. Replacing DBN V.2.6-31:2016; effective from 2022-09-01. Official edition. Kyiv, 2021. 23 p. (n.d.).
6. Deshko, V. I., Bilous, I. Yu., & Buyak, N. A. (2019). Influence of periodic heating modes on the dynamics of energy need and human thermal comfort for buildings with different thermal protection. KPI Science News, 0(4), 7–16. doi:10.20535/kpi-sn.2019.4.180731
7. Deshko, V., Bilous, I., Buyak, N., & Shevchenko, O. (2020). The Impact of Energy-Efficient Heating Modes on Human Body Exergy Consumption in Public Buildings. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 201–205. doi:10.1109/ESS50319.2020.9160270
8. Deshko, V., Bilous, I., Buyak, N., & Petruchenko, O. (2020). Analysis of the influence of energy efficient heating modes on buildings energy use basing on the mathematical modeling. POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology, 4. doi:10.20535/1813-5420.4.2020.233593

9. DesignBuilder. (n.d.). [Computer software]. DesignBuilder Software Ltd. <https://designbuilder.co.uk/>

10. EnergyPlus Energy Simulation Software. (n.d.). [Computer software]. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

11. International Weather for Energy Calculations. (n.d.). [Dataset]. [https://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_6\\_Europe/UKR\\_Ukraine/index.html#IDK\\_C\\_Kiev\\_City-](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/UKR_Ukraine/index.html#IDK_C_Kiev_City-)

## **DYNAMIC ENERGY BALANCE OF A BUILDING UNDER THE INFLUENCE OF CHANGES IN THE THERMAL INERTIAL PROPERTIES OF THE BUILDING ENVELOPE AND HEATING MODES**

**V. Deshko, I. Bilous, H. Hetmanchuk, M. Hurieiev**

**Abstract.** *Energy efficiency in buildings is one of the key areas for reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. Optimisation of heat flows and heating modes contributes to increasing the energy efficiency of buildings and reducing heating costs.*

*The purpose of the study is to conduct a parametric analysis of the components of the building heat balance and heat flows in rooms with different thermal properties.*

*The research methods include the use of DesignBuilder software, which is based on the EnergyPlus platform. On the basis of this software, a non-stationary multi-zone energy model of a multi-storey building was created, which is used to determine the components of the energy balance of a representative room at different parameters of structural elements and operating modes of the heating system.*

*The results of the study showed that the energy consumption of north-facing buildings for heating purposes is on average 34.8% to 38.3% higher than that of south-facing buildings, depending on the wall thickness. The use of intermittent heating modes can reduce heat consumption by up to 19.9%, depending on the thickness and type of building. It was also found that insulation of external walls and replacement of windows with energy-efficient ones have a much greater potential for reducing energy consumption than changing the mass of internal walls. One of the south-facing models with a constant heating mode in January showed a 39.2% reduction in heating costs compared to a similar model without insulation. The additional introduction of intermittent heating modes can reduce energy consumption by up to 22.3% for south-facing rooms and up to 21.4% for north-facing rooms.*

*The obtained results can be used to develop recommendations for optimal regulation of heating modes for premises with different characteristics of external and internal walls, which will contribute to the energy efficiency of buildings.*

**Key words:** *EnergyPlus, dynamic modelling, heat losses, solar heat gain, climate data, energy efficiency*