

В.І. Дешко, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8218-3933
І.Ю. Білоус, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-6640-103X
С.О. Крамаренко, студент, ORCID 0000-0003-1534-9793
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОДАТКОВІ ТЕПЛОВТРАТИ В МІСЦЯХ ПРИМИКАННЯ ВІКОННОЇ РАМИ ДО ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Сучасний стан житлово-комунальної сфери, побудованих до кінця 90-х років, потребує повної модернізації та значного підвищення енергоефективності. Світові тенденції підвищення рівня енергетичної ефективності будівель спрямовані на зменшення споживання енергії до майже нульового споживання (nZEB). Більша частина заходів спрямована для досягнення nZEB стосується заходів з покращення теплофізичних властивостей огорожень. При покращенні теплофізичних властивостей огорожень вагомість теплопровідних включень, що виникають в місцях примикання віконних конструкцій / залізобетонної плити перекриття до зовнішньої стіни та інше, суттєво зростає.

При покращенні теплофізичних властивостей огорожень вагомість теплопровідних включень, що виникають в місцях примикання віконних конструкцій / залізобетонної плити перекриття до зовнішньої стіни та інше, суттєво зростає. В роботі побудовано 2D-моделі в програмному середовищі THERM для дослідження температурних полів в місцях примикання лінійних теплопровідних включень. Проведено імітаційний розрахунок температурних полів для двох варіантів зовнішніх стін, що мають покращені теплофізичних властивостей огорожень, які відповідають сучасним вимогам теплового захисту.

Розрахунок проведений для кліматичних умов Києва. Встановлено, що для однакової товщини зовнішньої стіни заміна несучого шару конструкції силікатної цегли на газоблок покращує опір теплопередачі в 2 рази. З точки зору впливу лінійних теплопровідних включень в місцях примикання віконної рами до зовнішньої стіни спостерігається протилежний ефект, більший вплив в стіні виконаній з газоблоку. Наявність лінійних та точкових теплопровідних включень призводить до погіршення опору теплопередачі зовнішньої стіни виконаної з силікатної цегли на 20%, а з газоблоку - на 33% для розглянутої геометрії.

Ключові слова: теплопровідні включення, температурні поля, огорожувальні конструкції, термічний опір огороження.

Вступ

Україна є енергетично залежною країною від сусідніх держав. Сталий розвиток країни передбачає перехід до енергетичної незалежності, що в свою чергу можливе при підвищенні рівня енергоефективності. Будівлі є основним споживачем енергетичних ресурсів в Україні, де основна складова витрат становить витрати на потреби опалення. Зменшення цієї складової є можливе шляхом покращення теплотехнічних характеристик огорожень та використання сучасних інженерних мереж/технологій. В Україні з 2017 року набув чинності Закон України № 2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель». [1] Стандарти України щодо оцінки та підвищення рівня енергоефективності будівель наводять нормативну величину енергоспоживання на потреби опалення для будівель різного призначення та вимоги до теплозахисних властивостей оболонки, значення якої переглядається кожні 5 років. Згідно з директивою ЄС про енергетичну ефективність будівель 2010/31/EU (Energy Performance of Buildings Directive — EPBD), з 31 грудня 2020 року всі нові будівлі в країнах ЄС повинні будуватися як будівлі з майже нульовим споживанням енергії (nearly zero-energy buildings або nZEB). Україна, також приєдналася до країн, що рухаються напрямку nZEB в сфері енергетичної ефективності будівель. З впровадженням Директиви про енергетичну ефективність будівель кожна країна ЄС розробляє / розробила власні критерії для nZEB. Немає суворих і єдиних вимог для всіх країн-членів, і це забезпечує гнучкий підхід до розробки критеріїв, які зазвичай використовуються. [2] Крім того, кожна країна має національні плани nZEB щодо збільшення кількості дуже високого рівня енергоефективних будівель. Україна поки що не має таких критеріїв та стратегій для досягнення nZEB. [3] В значній мірі досягнення рівня nZEB можливе за рахунок утеплення та/або заміни огорожень, а отже врахування теплопровідних включень стає особливо важливим.

Житловий фонд України в значній мірі складається з будівель побудованих в період масової забудови, де особливо гостро поставлене питання покращенню рівня енергоефективності будівель. В значній мірі, покращення рівня енергетичної ефективності будівель стосується заходів з підвищення теплофізичних властивостей огорожень (перий етап), джерел та систем забезпечення (другий етап). На першому етапі впровадження енергозберігаючих заходів основна увага приділяється заміні світлопрозорих конструкцій [4].

© В. І. Дешко, І.Ю. Білоус, С.О. Крамаренко, 2020

Використання програмних продуктів дозволяє проводити поглиблений аналіз енергетичних характеристик будівель наближених до реальних умов експлуатації.[5] Враховуючи архітектуру алгоритмів сучасних динамічних програмних комплексів для дослідження енергетичних характеристик будівель, які реалізовані на принципах BEM-моделювання (Building Energy Modeling) є BLAST, DOE-2, ESP-r, HVACSIM+, TRNSYS, EnergyPlus та ін., світлопрозорий елемент конструкції розглядається як вузол, що не дозволяє отримувати розподіл температурних полів, а також не враховує лінійні теплопровідні включення в місцях примикання вікон до стіни [6].

В стандартах для розрахунку енергетичної ефективності будівель в Україні, в їх основі лежать стаціонарні та квазістаціонарні методи розрахунку, лінійні та точкові мостики холоду не враховуються або враховуються укрупнено через надбавку до коефіцієнту теплопередачі зовнішньої стіни [7]. Лінійні мостики холоду виникають в місцях примикання віконної рами або плити перекриття до зовнішньої стіни і т.д. В загальному енергобалансі втрати тепла через стіни можуть досягати 30%, що також спричинено теплопровідними включеннями. Особливістю теплопровідних включень є поява додаткових теплових потоків, які зменшують загальний опір теплопередачі огорожувальної конструкції та збільшують втрати тепла. Частка втрат тепла вікна через відкос може досягати 15% [8]. В стандарті [4] наведено розрахунок приведено термічного опору огорожень, що дозволяє враховувати лінійні та точкові мостики холоду. Потрібно відмітити, що стандарт [4] дозволяє проводити розрахунок лише для огорожень, які відповідають сучасним теплофізичним властивостям огорожень, тобто вже утеплені. Врахування лінійних мостиків холоду, наприклад, в місцях примикання віконної рами до зовнішньої стіни, яка відповідає термічному опору періоду масової забудови (біля 80% будівель України), не можливо. Це пояснюється тим, що для таких огорожень характерний низький рівень термічного опору, а отже теплопровідні включення мають менший вплив.

Враховуючи тенденції з покращення теплофізичних властивостей огорожень та підведення будівель до nZEB, складова теплопровідних включень буде мати більшу вагу. А отже, дана проблематика потребує додаткового вивчення та подальшої інтеграції отриманих результатів у динамічні програмні продукти для оцінки енергетичної ефективності будівель.

Для дослідження температурних полів використовується ряд програмних продуктів, серед них THERM, ELCUT та інші. [9, 10] Програма THERM [8] була розроблена в Національній лабораторії імені Лоуренса в Берклі, США. Програмне забезпечення дозволяє виконувати побудову 2D моделі вікна з урахуванням граничних умов, особливостей конструкції світлопрозорої та непрозорої частини (рами) вікна. Програмний продукт THERM синхронізується з підпрограмою WINDOW, яка дозволяє завантажувати готові стандартизовані креслення склопакетів з вказаними граничними умовами для подальшого моделювання розподілу температурних полів. Крім існуючих в бібліотеці WINDOW креслень віконних конструкцій, програма THERM дозволяє створювати нові віконні профілі, геометрія яких створюється в спеціалізованих програмних комплексах AutoCAD, Компас і т. п. Збережені креслення конструкцій в форматі DXF можуть бути завантажені в якості кальки в програму THERM. В результаті моделювання в програмному продукті THERM можна вивести: розподіл ізотерм на моделі, демонстрацію напрямку теплового потоку та його інтенсивність, визначення точки мінімальної і максимальної температури, а також можливість відобразити двовимірне температурне поле моделі кольоровою гістограмою.

Згадана вище програма ELCUT дублює функціонал THERM, але доступ до неї платний на відміну від програми THERM. До переваг ELCUT слід віднести: 1) вбудований інтегральний калькулятор за допомогою якого користувач може знайти тепловий потік, різницю температур, середню температуру поверхні та інтеграл від густини теплового потоку (в THERM дана функція відсутня); 2) вбудовано можливість побудови графіків залежності температури, градієнту, теплового потоку та теплопровідності від довжини контуру. [10]

Мета та завдання

Метою роботи є дослідження розподілу температурних полів в віконних конструкціях та визначення приведенного термічного опору з врахуванням лінійних мостиків холоду в місцях примикання вікна до стіни.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні *завдання*:

- 1) створити 2D-модель елементів зовнішніх огорожувальних конструкцій;
- 2) провести розрахунок температурних полів різних типів огорожувальних конструкцій;
- 3) визначити приведений термічний опір огорожень з врахуванням лінійних мостиків холоду.

Матеріал та результати досліджень

Вихідні дані. Опис об'єкту досліджень. В роботі розглянуто елемент зовнішнього огороження розміром 4×2,8 м з двокамерним енергозберігаючим вікном розміром 1,4×1,5 м. Розглянуто два типи зовнішніх стін, які складаються з 4-х шарів. Несучий шар конструкції виконаний: 1) з газоблоків 400 мм; 2) з силікатної цегли в 1,5 цеглини – 375 мм. Для досягнення сучасних вимог до теплозахисних властивостей огорожень додано шар мінеральної вати товщиною 100 мм. (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристика зовнішніх огорожувальних конструкцій

Склад стіни	
Варіант 1	Варіант 2
1) шар цементно-піщаного розчину $\lambda_1=0,81$ Вт/(м·К) [10], товщиною 20 мм;	
2) шар утеплювача з мінераловатних плит на основі базальтового волокна $\lambda_2=0,043$ Вт/(м·К) [10], товщиною 100 мм;	
3) шар кладки з силікатної цегли $\lambda_3=0,87$ Вт/(м·К) [10], товщиною 375 мм;	3) шар кладки з газоблоків D500 $\lambda_3=0,112$ Вт/(м·К) [10], товщиною 400 мм;
4) шар цементно-піщаного розчину $\lambda_4=0,81$ Вт/(м·К) [10], товщиною 20 мм;	

Розрахунок проводився для розрахункових ($t_{p.o}=-22^\circ\text{C}$) та середніх ($t_{c.o}=-0.1^\circ\text{C}$) опалювальних умов для м. Київ та відносній вологості 75%. [12] Внутрішня температура повітря 20°C , відносна вологість 55% [7]. Коефіцієнт тепловіддачі для внутрішнього та зовнішнього середовища становить $\alpha_{\text{вн}}=8,7$ Вт/м²·К та $\alpha_{\text{зов}}=23$ Вт/м²·К, відповідно. [4]

В роботі використана програма THERM [8], де було створено 2D моделі вікна з урахуванням граничних умов, особливостей конструкції світлопрозорої та непрозорої частини (рами) вікна, зовнішньої стіни, враховане місце розташування вікна, тобто віддаленість від зовнішньої поверхні зовнішньої стінки. В результаті моделювання в програмному продукті THERM було отримано розподіл ізотерм в світлопрозорої та непрозорої частині огороження, інтенсивність теплового потоку для розрахункових (проектних) (рис. 1) та середніх (рис. 2) умов зовнішньої температури повітря опалювального сезону для міста Київ [12], а також визначено точки мінімальної і максимальної температури.

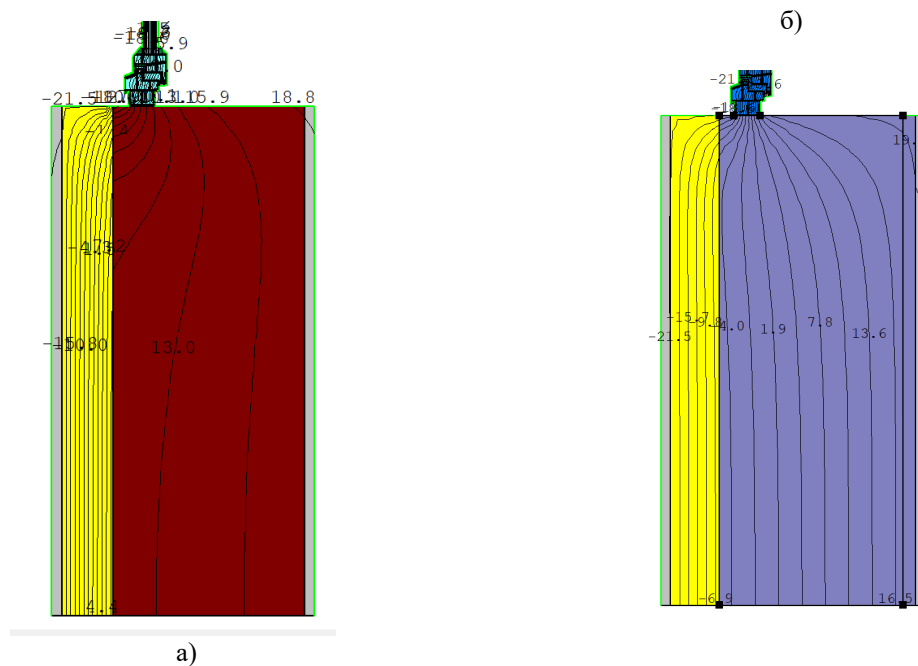


Рисунок 1 – Розподіл ізотерм в зовнішній стіні для варіанту 1 (а) та варіанту 2 (б) для розрахункових/проектних умов

На рис. 3,а наведено зміну при віддаленні від рівня підвіконня температури на поверхні огороження між шаром ізоляції та шаром кладки, яка виконана з силікатної цегли або газоблоку. На рис. 3,б наведено температурний перепад в несучому шарі конструкції (газоблок/силікатна цегла) для розрахункових зовнішніх умов для міста Київ [11]. Газоблок має покращені теплофізичні властивості на відміну від силікатної цегли (менший коефіцієнт теплопровідності), тобто суттєво покращується термічний опір огороження (зовнішньої стіни), але з точки зору теплопровідних включень більш чутлива.

На рис. 4 наведено двовимірне температурне поле для розрахункових умов зовнішнього середовища. З рис. 4 та 1 слідує, що для газоблоку температурне поле має нижчий рівень ніж для силікатної цегли в центрі розглянутої зовнішньої конструкції.

Програмний продукт THERM дозволяє візуально оцінити теплові потоки та границі, де вплив мостиків холоду нівелюється (рис. 5). Напрямок стрілки вказує на напрям теплового потоку, а її величина – інтенсивність.

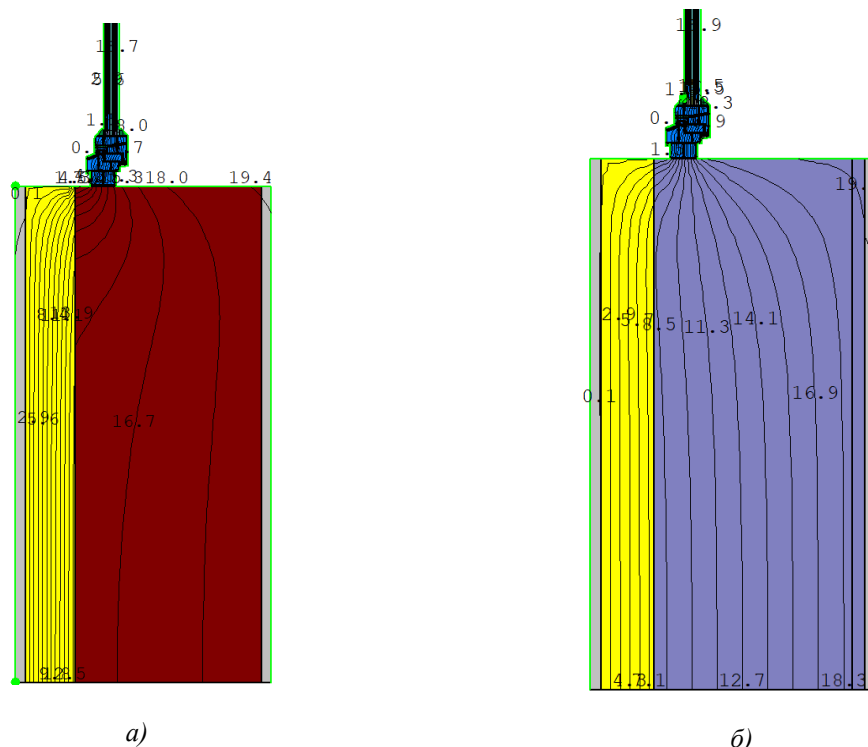


Рисунок 2 – Розподіл ізотерм в зовнішній стіні для варіанту 1 (а) та варіанту 2 (б) для середніх за опалювальний сезон зовнішніх умов

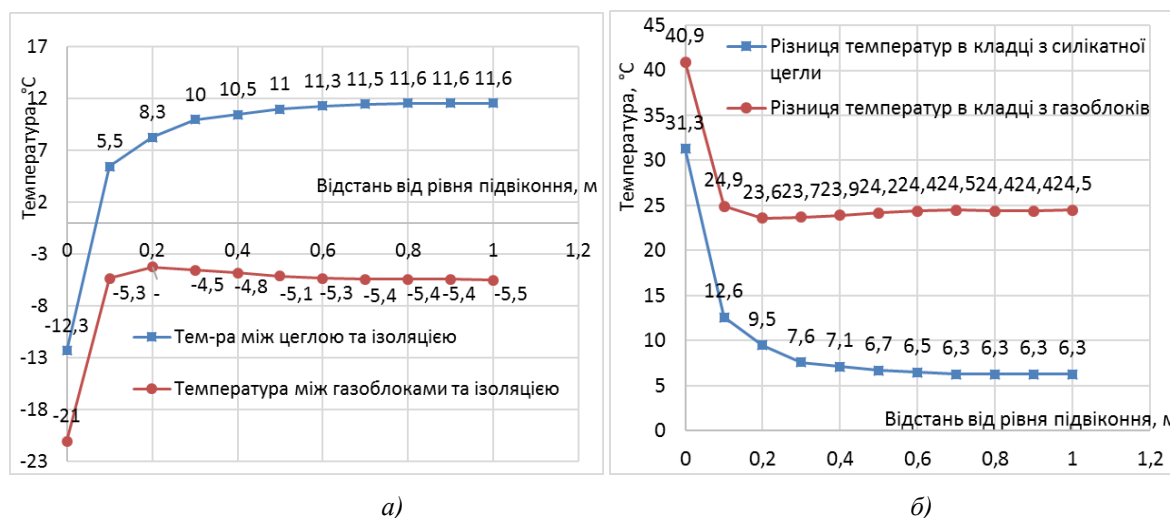


Рисунок 3 – Температура поверхні несучого шару кладки з боку ізоляції (а) та температурний перепад в шарі кладки (б) для розрахункових умов м. Київ

В програмі THERM було почарго визначено опір теплопередач прозорого та непрозорого елементу огородження, який становить ($m^2 \cdot K/Вт$): вікно – 0,63; стіна з силікатної цегли – 2,96; з газоблоку – 6,1. Визначення приведення опору теплопередачі зовнішнього огородження в програмі є не можливою, адже 2D-модель дозволяє визначити лише лінійний опір огородження. Приведений термічний опір огородження залежить від геометричного співвідношення стіна-вікно, при збільшенні коефіцієнту застосування вплив лінійних мостиків холоду буде суттєвіший.

Для світлопрозорого огородження проведено порівняння опору теплопередачі. Встановлено, що з змодельований двокамерний склопакет з повітряним заповненням в програмі EnergyPlus та підпрограми Window становить 0,55 ($m^2 \cdot K/Вт$) [6], з стандарту [11] – 0,47. Відмінність опору теплопередач отриманого на основі програм THERM, EnergyPlus пояснюється особливістю конструкції рами вікна, яка задається. В стандарті [11] не уточнюється, який тип рами та співвідношення між площею вікна та рамою.

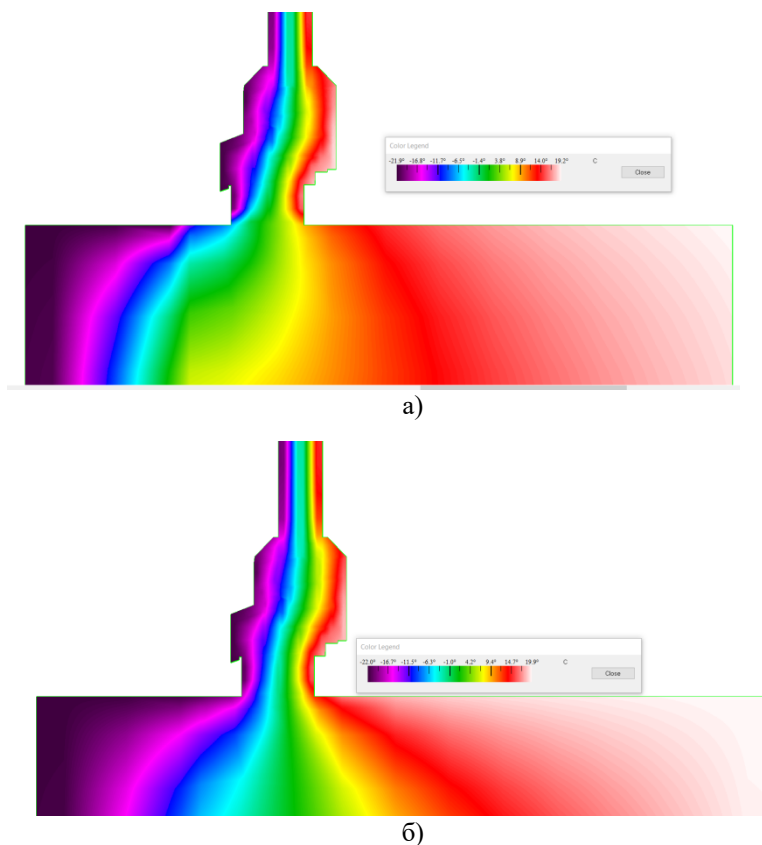


Рисунок 4 – двовимірне температурне поле в зовнішній стіні для варіанту 1 (а) та варіанту 2 (б) для розрахункових умов зовнішнього середовища

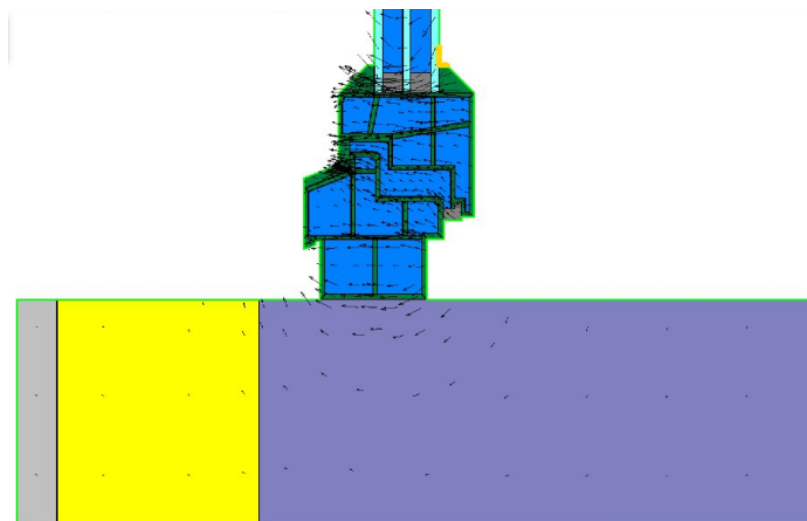


Рисунок 5 - Візуалізація теплових потоків в стіні виконаній з газоблоку

На основі стандарту [4] визначено опір теплопередачі непрозорого елемента огородження. Врахування лінійних та точкових теплопровідних включень на основі стандарту [4] можливе лише для утеплених зовнішніх стін, для теплофізичних властивостей стін масової забудови розрахунок теплопровідних включень на основі стандарту [4] не можливе. Проведено розрахунок загального опору теплопередачі зовнішньої стіни та її приведенного опору, що враховує теплопровідні включення. Опір теплопередачі зовнішніх стін без врахування теплопровідних включень визначався за формулою [4]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (1)$$

де α_6, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К); δ_i – товщина i -го шару зовнішніх стін, м; λ_{ip} – розрахункова теплопровідність матеріалу i -го шару зовнішніх стін в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К).
Приведений опір теплопередачі зовнішніх стін визначається за формулою [4].

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k} \quad (2)$$

де k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го елемента, Вт/(м·К); L_j – протяжність j -го елемента, м; ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі k -го елемента, Вт/К; N_k – кількість точкових включень k -го елемента, шт; F_{Σ} – загальна площа розглянутих огорожень, м²; $R_{\Sigma i}$ – площа i -го термічно однорідного непрозорого масиву огорожувальної конструкції без врахування теплопровідних включень загальний опір теплопередачі i -го огороження, м²·К/Вт; F_i – площа i -го термічно однорідного непрозорого масиву огорожувальної конструкції без врахування теплопровідних включень, м².

Характеристика теплопровідних включень наведена в таблиці 2, що визначені з стандарту [4].

Таблиця 2– Характеристика теплопровідних включень [4]

Найменування теплопровідного включення	Протяжність, м	Кількість, шт	Лінійний коеф. теплопередачі k , Вт/(м·К)		Точковий коеф. теплопередачі ψ , Вт/К
			Варіант 1	Варіант 2	
Віконний відкос в зоні перемички	1,4	–	0,081	0,075	–
Віконний відкос в зоні підвіконня	1,4	–	0,059	0,077	–
Віконний відкос в зоні рядового примикання	3	–	0,068	0,052	–
Дюбелі для кріплення мінераловатних плит	–	73*	–	–	0,005

* з стандартного розрахунку 8 шт дюбелів на м² зовнішньої стіни

Проведено порівняння результатів розрахунку опору теплопередачі (табл. 3). Отримані результати розрахунку загального опору теплопередачі зовнішньої стіни аналогічні результатам отриманих в програмі THERM.

Врахування мостиків холоду в місцях примикання віконної рами до зовнішньої стінки погіршує термічний опір стіни з силікатної цегли на 20%, а з газоблоку – на 33%, а отже так само збільшує тепловтрати через неї для стаціонарних умов розрахунку. Отримані результати справедливі лише для розглянутих геометричних розмірів стіни та вікна. При збільшенні коефіцієнту заклення приведенний опір теплопередачі зовнішньої стіни буде зменшуватися, адже вплив теплопровідних включень буде суттєвіший.

Потрібно відмітити, що опір теплопередачі без врахування теплопровідних включень стіни виконаної з газоблоку та силікатної цегли відрізняється в 2,06 рази, при врахуванні теплопровідних включень – 1,73 рази. Звідси слідує, що врахування теплопровідних включень зменшує різницю в опорах між двома розглянутими типами огорожень.

Таблиця 3 – Опір теплопередачі зовнішніх стін

Характеристика	Варіант 1	Варіант 2
R , (м ² ·К)/Вт	2,96	6,10
R_{np} , (м ² ·К)/Вт	2,37	4,09
Відхилення, %	20	33

Висновки

В роботі проведено аналіз теплопровідних включень в місцях примикання віконного відкосу до зовнішньої стіни. Для аналізу були створені двовимірні математичні моделі зовнішнього огороження (стіни та вікна) для двох варіантів огорожень, що відповідають сучасним вимогам теплозахисних властивостей огорожень.

Для однакової товщини зовнішньої стіни заміна несучого шару конструкції силікатної цегли на газоблок покращує опір теплопередачі в 2 рази. Але лінійні теплопровідні включення в місцях примикання віконної рами до зовнішньої стіни мають більший вплив в стіні виконаній з газоблоку.

Врахування лінійних та точкових теплопровідних включень призводить до погіршення опору теплопередач зовнішньої стіни виконаної з силікатної цегли на 20%, а з газоблоку - на 33%. Врахування теплопровідних включень навіть для споруди без складних конструктивних рішень огорожень призводить до збільшення тепловтрат, внаслідок чого може змінитися клас енергетичної ефективності будівель, тому поширена практика енергоаудиторів під час визначення енергопотреб будівлі спрощувати подібні розрахунки не є виправданою.

Список використаної літератури

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. С. 359.
2. Nematoua M.K, Marie-Reine Nishimwe A., Reiter S. Towards nearly zero-energy residential neighbourhoods in the European Union: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135 (2021) 110198. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110198
3. Fedorcak-Cisak M., Knap K., Kowalska-Koczwara A., Pachla F., Pekarchuk O. Energy and Cost Analysis of Adapting an Existing Building to 2017 Technical Requirements and Requirements for NZEB. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Volume 471, Issue 11, 24 February 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112094
4. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель / ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2013, - 55 с.
5. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А. Вплив переривчастих режимів опалення на динаміку енергопотреб та умови комфортності будівель з різним рівнем теплового захисту. *Наукові вісті НТУУ КПІ*. 2019. №4. С. 7-16.
6. Білоус І.Ю., Дешко В.І., Буяк Н.А., Голубенко О.О., Гурєєв М.В. Оцінка впливу заміни вікон на енергопотребу та умови комфорту в будівлі на основі динамічного моделювання. *Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія»*. 2018. №3. С. 52-62.
7. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 203 с.
8. Семенова Э.Е., Самсонова М.Г., Нецепляев Д.Е., Компанец В.Ю. Пути повышения энергоэффективности гражданских зданий. *Инженерные системы и сооружения*. - 2019. - №3 (36). - С. 20-24.
9. Офіційний сайт програмного продукту THERM, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://windows.lbl.gov/software/therm>
10. Офіційний сайт програмного продукту ELCUT, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elcut.ru>
11. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. [На заміну СНиП II-3-79; чинний від 2007.04.01 зі зміною №1 від 1 липня 2013 року]. К.: Мінбуд України, 2006. 70 с.
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. К., 2011. 127 с.

V. Deshko, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID** 0000-0002-8218-3933

I. Bilous, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0002-6640-103X

S. Kramarenko, student, **ORCID** 0000-0003-1534-9793

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ADDITIONAL HEAT LOSSES AT THE JUNCTIONS OF THE WINDOW FRAMES AND ENCLOSING STRUCTURES

The current state of housing and communal services, which have been built by the end of the 90s, requires complete modernization and a significant increase of energy efficiency. Global trends in energy efficiency of buildings are aimed at changing energy consumption to almost zero level (nZEB). Most of the measures aimed at achieving nZEB refer to measures of improvement the thermophysical properties of enclosures. With the improvement of the thermophysical properties of the enclosures, the influence of the thermally conductive inclusions that occur at the junctions of the window structures / reinforced concrete slab of the ceiling to the outer wall, etc., increases significantly.

The paper contains 2D-models built in the THERM – a software for studying temperature fields at the junctions of linear heat-conducting inclusions. We have simulated heat-conducting fields for two variants of external walls with improved thermophysical properties of enclosures that conform to modern requirements for thermal protection. The calculation was made for the climatic conditions of Kyiv.

It is established that for the same thickness of the outer wall, the replacement of the bearing layer of the silicate bricks structure with a aerocrete blocks improves the resistance to heat transfer by 2 times. From the point of view of influence of linear heat-conducting inclusions in places of adjunction of a window frame to an external wall is observed the opposite effect, when there is a bigger influence in a wall made of the aerocrete blocks. Taking into account linear and point heat-conducting inclusions leads to a deterioration of the resistance to heat transfer of the outer wall made of silicate bricks by 20%, and of the aerocrete blocks - by 33%. Consideration of heat-conducting inclusions even for a construction without difficult constructive decisions of protections leads to increase in heat losses.

Keywords: thermally conductive inclusions, temperature fields, enclosing structures, thermal resistance of the enclosure.

REFERENCES

1. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. S. 359.
2. Nematchoua M.K., Marie-Reine Nishimwe A., Reiter S. Towards nearly zero-energy residential neighbourhoods in the European Union: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135 (2021) 110198. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110198
3. Fedorczyk-Cisak M., Knap K., Kowalska-Koczwara A., Pachla F., Pekarchuk O. Energy and Cost Analysis of Adapting an Existing Building to 2017 Technical Requirements and Requirements for NZEB. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Volume 471, Issue 11, 24 February 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112094
4. Metody vyboru teploizoliatsiinogo materialu dlia uteplennia budivel / DSTU B V.2.6-189:2013 [Natsionalnyi standart Ukrainy] – K.: Minrehion Ukrainy, 2013, - 55 s.
5. Deshko V.I., Bilous I.U., Buiak N.A. Vplyv pereryvchastykh rezhymiv opalennia na dynamiku enerhopotreby ta umovy komfortnosti budivel z riznym rivnem teplovoho zahystu. *Naukovi visti NTUU KPI*. 2019. №4. S. 7-16.
6. Bilous I.U., Deshko V.I., Buiak N.A., Holubenko O.O., Hureev M.V. Otsinka vplyvu zaminy vikon na enerhopotrebu ta umovy komfortu v budivli na osnovi dynamichnogo modeluvannia. *Naukovyi zhurnal «Enerhetika: ekonomika, tehnolohii, ekolohia»*. 2018. №3. S. 52-62.
7. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrahunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvitlenni ta hariachomu vodopostachanni / DSTU B A.2.2-12:2015 [Natsionalnyi standart Ukrainy] – K.: Minrehion Ukrainy, 2015, - 203 s.
8. Semenova E.E., Samsonova M.H., Netsepliaev D.E., Kompaneets V.U. Puti povyshenia energoefektivnosti grazhdanskykh zdaniy. *Inzhenernye sistemy i sooruzhenia*. - 2019. - №3 (36). - S. 20-24.
9. Ofitsiyniyi sayit programnogo produktu THERM, [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://windows.lbl.gov/software/therm>
10. Ofitsiyniyi sayit programnogo produktu ELCUT, [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://elcut.ru>
11. DBN V.2.6-31:2006. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Teplova izoliatsia budivel. [Na zaminu SNiP II-3-79; chunnyi vid 2007.04.01 zi Zminou №1 vid 1 lypnia 2013 roku]. K.: Minbud Ukrainy, 2006. 70 s.
12. DSTU -N B V.1.1-27:2010. Budivelnna klimatolohia. K., 2011. 127 s.

Надійшла 19.06.2020
Received 19.06.2020