

Моделювання температурного розподілу в зоні теплових мостів методом скінченних різниць з ітераційним розв'язанням за Гауссом-Зейделем

Артем Загорський, студент¹ (ORCID: 0009-0001-1122-1103)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури Україна

АНОТАЦІЯ

У роботі виконано чисельне моделювання температурного поля у вузлі «стіна-віконний блок» методом скінченних різниць із використанням ітераційної схеми Гаусса-Зейделя для виявлення теплових мостів та оцінки енергоефективності конструкції.

Ключові слова: теплопровідність, метод скінчених різниць, метод Гаусса-Зейделя, теплові мости, температурне поле, енергоефективність.

1. ВСТУП

У сучасному будівництві велике значення має забезпечення енергоефективності будівель, особливо в зонах конструктивних примикань, де часто виникають теплові мости [1,2,3,4]. Такі ділянки сприяють втратам тепла, утворенню конденсату та зниженню теплового комфорту. Для аналізу температурних полів у подібних вузлах доцільно використовувати чисельні методи, зокрема метод скінченних різниць. У даній роботі розроблено математичну модель у середовищі Scilab, яка дозволяє дослідити розподіл температур у вузлі «стіна-віконний блок». Розв'язання системи рівнянь здійснюється за допомогою ітераційної схеми Гаусса-Зейделя, що забезпечує ефективну та точну оцінку теплових втрат і виявлення проблемних зон.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

У дослідженні теплотехнічних властивостей будівель важливу роль відіграють вузли примикання, де часто виникають теплові мости. Для аналізу розподілу температури в таких зонах розроблено чисельну модель у середовищі Scilab з використанням методу скінченних різниць [5].

Модель охоплює поперечний переріз «стіна-віконний блок» (0,5×1 м), дискретизований сіткою 50×100 вузлів. Виділено зони, що відповідають матеріалам конструкції: цегляна стіна з утеплювачем, віконна рама, склопакет. Їм присвоєно відповідні коефіцієнти теплопровідності: для цегли — 0,8, утеплювача — 0,04, рами — 0,2, скла — 1,0 Вт/(м·К). Значення внесені у матрицю теплопровідності для точного урахування матеріалів у кожній точці

Граничні умови: температура зсередини +20 °С, ззовні – 10 °С. Початковий розподіл температур задано як лінійний профіль, що пришвидшує збіжність розрахунків. Розв'язання виконується за допомогою ітераційної схеми Гаусса-Зейделя, яка поступово уточнює температури в усіх вузлах. Процес завершується, коли зміни стають меншими за 10⁻⁴.

Результати моделювання відображаються графічно через псевдоколірну карту (Sgrayplot). Це дозволяє виявити зони підвищеного теплового потоку, які свідчать про

теплові мости, що можуть спричинити конденсацію або втрату теплового комфорту.

Вибір методу зумовлений його простотою та ефективністю для двовимірних задач, а Scilab — доступністю й гнучкістю. Модель дозволяє кількісно оцінити теплові втрати, прогнозувати температурні режими поверхонь та оптимізувати конструктивні рішення для підвищення енергоефективності.

Розроблений скрипт є прикладом практичного застосування чисельних методів у будівельній фізиці та може використовуватись як у навчальних цілях, так і в реальних проектах. Для визначення коефіцієнтів парникових газів, які виникають при постачанні теплової енергії, оберемо умовний трубопровід, умовної вхідної потужності Q₁, при роботі трубопроводу теплової мережі протягом певного проміжку часу.

У процесі дослідження теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій особливу увагу слід приділяти вузлам примикання, оскільки саме в цих місцях найчастіше виникають так звані теплові мости [6,7,8]. Для того щоб оцінити розподіл температури у такому вузлі, було створено чисельну модель у середовищі Scilab

1. Метод скінченних елементів:

- Розбиваємо область на скінченну кількість елементів (трикутники або прямокутники).
- Для кожного елемента задаємо рівняння теплопровідності з відповідними λ.
- Враховуємо граничні умови та умови сполучення.
- Використовуємо програмне забезпечення (наприклад: ANSYS, COMSOL, Multiphysics) для числового розв'язання

2. Метод скінченних різниць

- Дискретизуємо область на сітку.
- Замінюємо похідні скінченними різницями:

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(\lambda \frac{\delta T}{\delta x} \right) \approx \frac{\lambda_i + 1/2(T_{i+1j} - T_{i,j})}{\Delta x^2} \quad (1)$$

- Розв'язуємо систему лінійних рівнянь.

3. Спрощений одновимірний аналіз (для оцінки): Для окремих ділянок (стіна, скло) можна застосувати закон теплопровідності:

$$q = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\sum \left(\frac{d_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{1}{\alpha_{ext}}} \quad (2)$$

де d_i – товщина шару;
 λ_i – коефіцієнт теплопровідності.

3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛІ

Отриманий розподіл температури $T(x,y)$ дозволяє визначити:

- Зони можливого утворення конденсату (де $T < T_{\text{dew}}$).
- Теплові втрати через вузол примикання.
- Температуру на внутрішній поверхні для оцінки комфорту тексту.

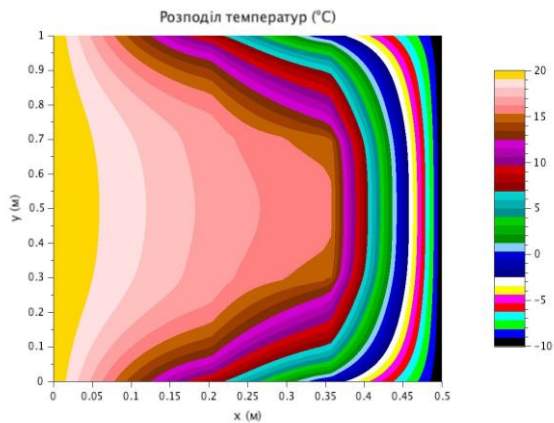


Рисунок 1. Розподіл температур у поперечному перерізі вузла стіна-віконний блок.

На зображенні представлено розподіл температур у поперечному перерізі вузла «стіна-віконний блок», отриманий за допомогою чисельного моделювання. Ізотерми показують, як змінюється температура від внутрішньої поверхні (+20 °C) до зовнішньої (-10 °C). Жовта зона відповідає теплій внутрішній частині, темна — холодному зовнішньому повітрю.

Різна густина ізотерм свідчить про неоднорідність конструкції. Утеплювач затримує тепло (ізотерми розріджені), тоді як скло та рама пропускають його швидше (ізотерми згущені), що вказує на наявність теплових мостів.

У деяких зонах температура на внутрішній поверхні знижується до критичних значень, що може призвести до конденсації та появи грибка. Результати підтверджують ефективність моделі та дозволяють визначити проблемні ділянки для подальшої оптимізації конструкції й покращення теплоізоляції.

4. ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було розроблено чисельну модель для аналізу температурного поля у вузлі примикання «стіна-віконний блок» з використанням методу скінченних різниць та ітераційної схеми Гаусса-Зейделя в середовищі Scilab. Отримані результати дозволили виявити зони з підвищеними тепловими втратами, що свідчать про наявність теплових мостів і потенційні ризики утворення конденсату. Модель підтвердила свою ефективність для оцінки енергоефективності будівельних конструкцій та може бути використана для подальшої оптимізації вузлів примикання

з метою покращення теплоізоляційних характеристик будівель.

Список літератури

- [1] ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. (2021). Київ: Мінрегіон України. URL: <https://online.budstandart.com>
- [2] Кольчик, Ю. М. Будівельна теплофізика: методичні вказівки до практичних занять. Київ: КНУБА. 2023.
- [3] Колесник, Є. С., & Білоус, О. М. Методи розрахунку енергоефективності будівель згідно з ДСТУ Б EN ISO 13790: 2011 «Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні». *Сучасне промислове та цивільне будівництво*, 2012. 4, 197-204.
- [4] Демченко, В. В., Чуприна, Х. М., & Невмержицький, О. В. Методи підвищення енергоефективності будівлі. *Управління розвитком складних систем*. 2013. (16), 138-143. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21IID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILEA=&2_S21STR=Urss_2013_16_27
- [5] Malkin, E., & Pogosov, O. Оцінка вторинних енергоресурсів та напрямки підвищення енергоефективності при реконструкції систем паропостачання промислових підприємств. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2015. (18), 106-112. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2015.18.106-112>
- [5] Боднар, Ю. І., & Босецький, М. В. Вплив теплопровідних включень на енергоефективність зовнішніх стін житлового будинку з монолітним каркасом. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2024. 36(1), 139-144. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-139-144>
- [6] ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон України. 2022.
- [7] Погосов, О., Пасічник, П., & Кулінко, Є. Вплив деяких проектних рішень на клас енергетичної ефективності будівлі. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*, (22.12.2023, UK). 2023. 214-217. Coventry. URL: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/1526>
- [8] Chuanbiao Zhu, Xinpeng Hu, Wenling Wang, Xiangyu Yan, Shenglong Xiao, Zhigang Liu, Xiang Lu, Jinping Qu, Nervous system inspired interconnected phase change composites with efficient thermal conductive network for sustained power generation, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 199, 2025, 109243, ISSN 1359-835X. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2025.109243>

ⁱ Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доц. Олександра Погосова..