

Ю. І. Боднар
М. В. Босецький

ВПЛИВ ТЕПЛОПРОВІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗОВНІШНІХ СТІН ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З МОНОЛІТНИМ КАРКАСОМ

Львівський національний університет природокористування

Досліджено вплив «містків холоду» на приведений опір теплопередачі стінових огорожень, який характеризує їх теплоізоляційні властивості та енергоефективність. Розглянуто дев'ятиповерховий монолітно-каркасний житловий будинок у м. Львові. Стінові огорожувальні конструкції товщиною 250 мм із пустотілих керамічних блоків на цементно-піщаному розчині. Теплоізоляція стін виконана мокрим способом плитами із мінеральної вати товщиною 100 мм. Вікна та прозорі фасадні системи із ПВХ-профілів із заповненням двокамерним склопакетом. Розглянуто такі теплопровідні включення: дюбелі кріплення мінеральної вати, віконні укуси, міжповерхові та балконні перекриття, колони, кутові примикання. Для визначення приведенного опору теплопередачі виконано моделювання вузлів стін методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу Agros2D. У результаті розрахунків отримано температурні поля та теплові потоки для відповідних вузлів із «містками холоду». На основі розрахунків двомірних температурних полів фрагментів стін підраховано лінійні коефіцієнти теплопередачі для лінійних теплопровідних включень. Визначено приведений опір теплопередачі для зовнішніх стін розглянутого будинку із врахуванням названих «містків холоду». Результати свідчать про значний вплив цих теплопровідних включень. Оцінено вплив кожного теплопровідного включення на коефіцієнт теплопередачі. Підсумовано, що найбільший вплив на теплопередачу для досліджуваного будинку мають такі теплопровідні включення, як перекриття. Результати досліджень будуть корисними при аналізі енергоефективності та проектуванні багатоповерхових житлових будинків із монолітним каркасом.

Ключові слова: енергоефективність, приведений опір теплопередачі, теплопровідне включення, моделювання, температура, зовнішні стіни, монолітний каркас, житловий будинок

Вступ

На даний час проблема раціонального використання енергетичних ресурсів є надзвичайно актуальною. Це пов'язано із обмеженістю запасів нафти та газу, проблемою збереження довкілля як при видобутку, так і при використанні цих джерел енергії. Одним із основних споживачів енергетичних ресурсів є будівлі, зокрема житлові. Вагомою складовою у цьому є енергія, яка використовується для опалення. Зменшення затрат енергії на опалення може бути досягнуто проектуванням огорожувальних конструкцій, зокрема зовнішніх стін, із максимальними теплоізоляційними властивостями.

Зовнішні стіни переважно є термічно неоднорідними конструкціями, тобто містять так звані «містки холоду» – частини із більшою теплопровідністю. Теплоізоляційні властивості таких конструкцій визначаються згідно [1] приведеним опором теплопередачі, який розраховується згідно [2]. Лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі, які входять у формулу для визначення приведенного опору теплопередачі [2], визначаються на підставі розрахунку температурних полів та теплових потоків вузлів огорожень.

Задачі дослідження теплоізоляційних властивостей термічно неоднорідних огорожувальних конструкцій розглядалися у працях багатьох вітчизняних [6-10] та зарубіжних [11-16] авторів. Проте існує потреба таких досліджень для сучасних конкретних конструктивних рішень огорожувальних конструкцій, зокрема житлових будівель з монолітним каркасом.

Мета роботи полягає у аналізі впливу теплопровідних включень на опір теплопередачі та енергоефективність зовнішніх стін для конкретного житлового будинку із монолітним каркасом у м. Львові та обґрунтування необхідності підвищення енергоефективності стінових огорожень таких будинків. Аналіз здійснюється на основі моделювання методом скінченних елементів температурних задач для вузлів зовнішніх стін із теплопровідними включеннями.

Основна частина

Виконано дослідження теплоізоляційних властивостей зовнішніх стін багатоквартирного житлового будинку із монолітним каркасом у м. Львові. Зовнішні огорожувальні конструкції - стіна товщиною 250мм з пустотілих керамічних блоків КР-2,12НФ на цементно-піщаному розчині, утеплення мокрим способом мінеральною ватою Rockwool марки Frontrock Max E товщиною 100мм. Вікна та прозорі фасадні системи із ПВХ-профілів із заповненням двокамерним склопакетом з опором теплопередачі $R_0=0,75^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{Вт}$.

Згідно [2] при визначенні товщини теплоізоляції враховуються такі теплопровідні включення, як

дюбелі кріплення мінеральної вати та віконні відкоси, а при визначенні загальних тепловтрат крім цього міжповерхові та балконні перекриття, колони, кутові примикання. Для визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі відповідного теплопровідного включення виконуємо методом скінченних елементів моделювання вузлів стін із цим включенням. Характерні вузли із вказаними «містками холоду» для розглянутого будинку приведені на рис.1 - рис.3.

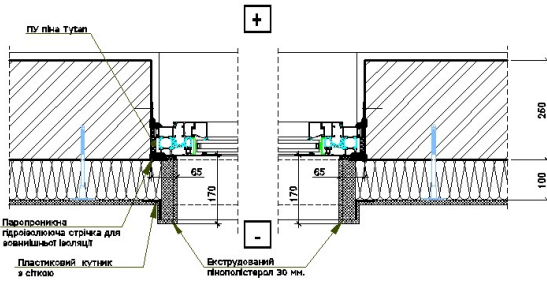


Рисунок 1 - Вертикальні укоси прорізів

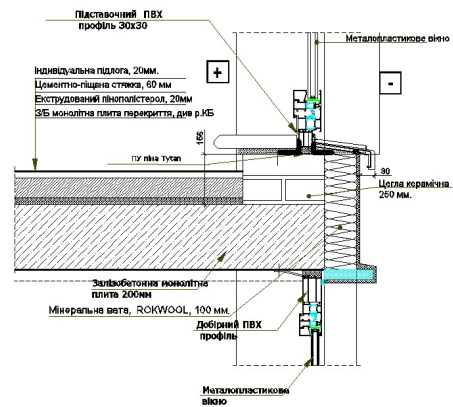


Рисунок 2 - Міжповерхове перекриття

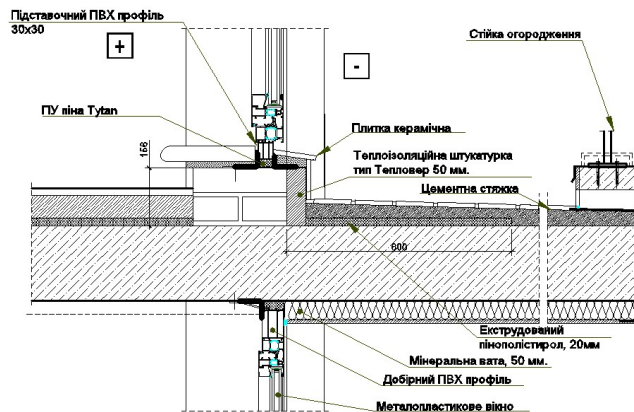


Рисунок 3 – Балконне перекриття

Виконуємо моделювання вузлів в рамках програми Agros2D [3] та визначаємо теплові потоки через них. При моделюванні будемо приймати заповнення прорізів у вигляді пластини сталої товщини δ з умовним коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = \delta / (R_W - (1/h_{si} + 1/h_{se}))$, де R_W – опір теплопередачі вікна, h_{si}, h_{se} - коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхні світлопрозорої огорожувальної конструкції. Розміри колон 750x250мм. Підлога на балконах – керамічна плитка по цементно-піщаній стяжці; біля стінки укладено плиту екструдованого пінополістиролу товщиною 20мм і шириною 600мм. Стіна під прорізом на балконі утеплена теплоізоляційною штукатуркою типу Тепловер товщиною 50мм. Балконна плита утеплена знизу мінеральною ватою товщиною 50мм. Шари, які несуттєво впливають на теплоізоляційні властивості, зокрема штукатурку, враховувати не будемо. Умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях, розрахунку температуру зовнішнього та внутрішнього повітря приймаємо згідно [1]. Коефіцієнти тепловіддачі поверхонь приймаємо згідно [2]. Коефіцієнти теплопровідності теплоізоляційних матеріалів приймаємо згідно інформації виробників [4, 5], інших - згідно норм [2]. Мінеральна вата кріпиться пластиковими дюбелями із металевим стержнем по 8 дюбелів на один метр квадратний. Приймаємо наближено точковий коефіцієнт теплопередачі дюбеля згідно [2] рівним 0.005 Вт/К.

Результати моделювання приведені на рис. 4 - рис.12. Лінійні коефіцієнти теплопередачі визначаємо на підставі аналізу отриманих у результаті моделювання теплових потоків, використовуючи співвідношення:

$$\psi_i = \frac{f_i}{\theta e_{int} - \frac{l_i}{R_i}}$$

де f_i – тепловий потік через вузол огорожувальної конструкції з теплопровідним включенням; $\theta_{e_{int}}$ – розрахункова температура внутрішнього та зовнішнього середовища; R_i – опір теплопередачі термічно однорідної частини конструкції; l_i – довжина термічно однорідної частини. Результати підрахунку приведені у таблиці 1.

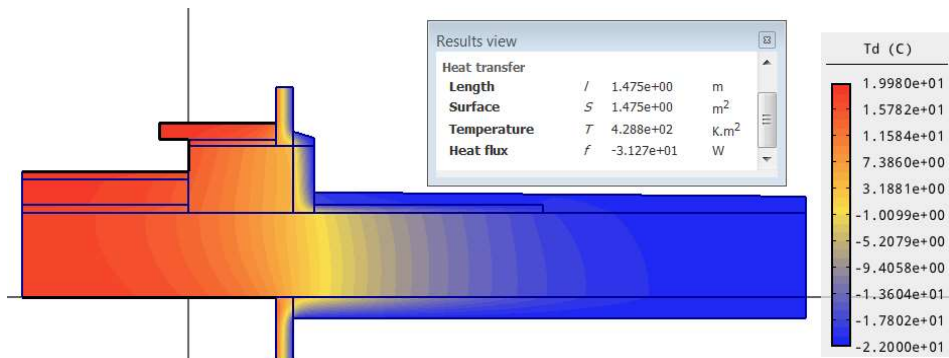


Рисунок 4 – Моделювання теплопередачі для вузла примикання балконного перекриття та стіни у місцях прорізів

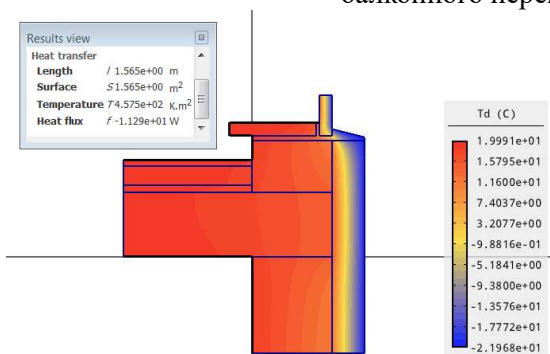


Рисунок 5 - Моделювання для вузла примикання перекриття і стіни (зверху проріз, знизу стіна)

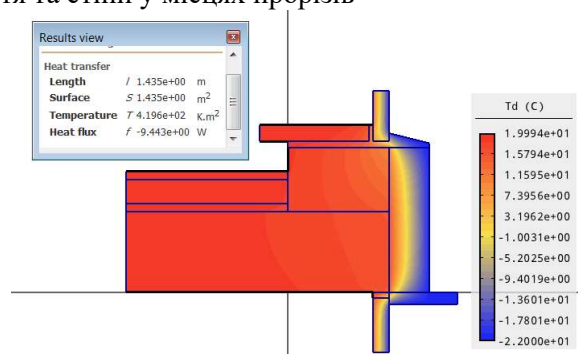


Рисунок 6 - Моделювання теплопередачі для вузла примикання перекриття та стіни у місцях прорізів

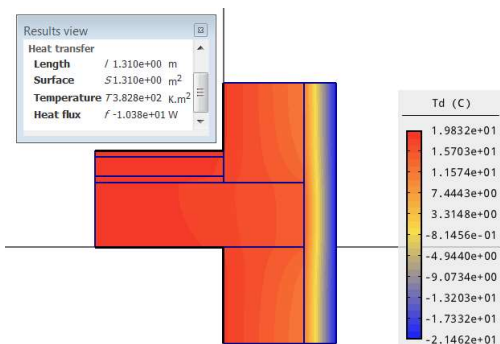


Рисунок 7 - Моделювання для вузла примикання перекриття і стіни (зверху і знизу стіна)

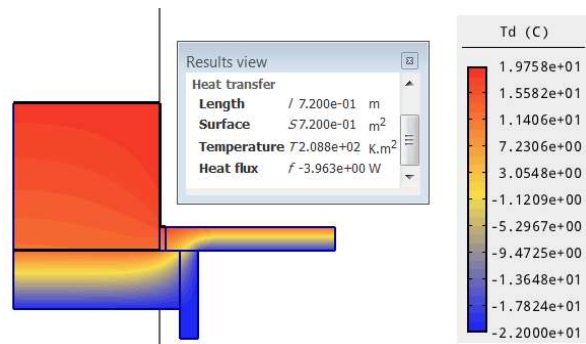


Рисунок 8 - Моделювання теплопередачі вузла вертикального віконного укосу

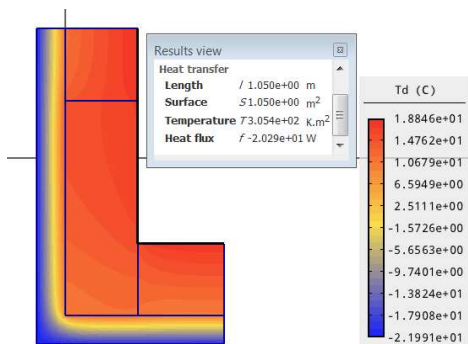


Рисунок 9 - Моделювання теплопередачі кута з колоною

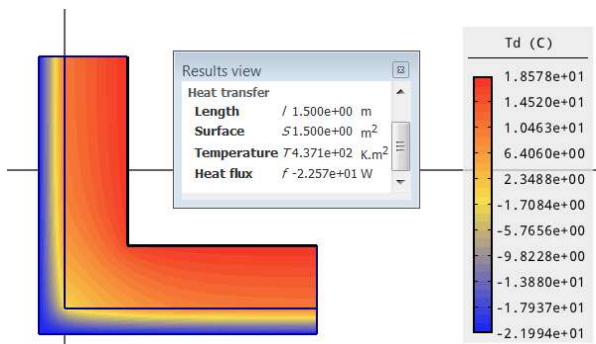


Рисунок 10 - Моделювання теплопередачі кутового вузла

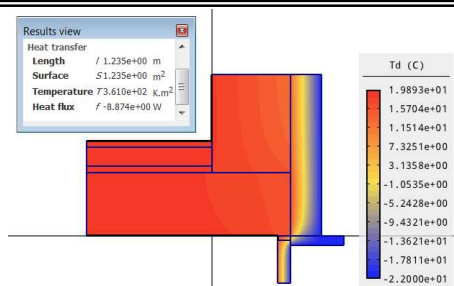


Рисунок 11 – Моделювання теплопередачі для вузла перекриття-стіна (зверху стіна, знизу проріз)

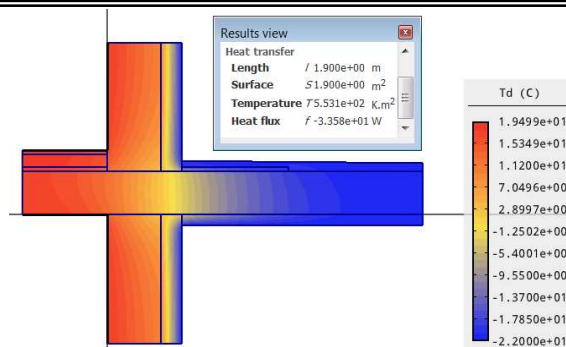


Рисунок 12 – Моделювання теплопередачі вузла балконне перекриття-стіна (зверху і знизу стіна)

Таблиця 1

Теплопровідні включення та їх параметри

№	Вузол стіни	f_i Вт/м	Ψ_i Вт/(м · °C)	L_i м	Вклад %
1	Боковий укіс вікна	3.96	0.022	158.4	3.4
2	Балконні перекриття:				
3	зверху і знизу проріз	31.27	0.61	16.2	9.8
4	зверху і знизу стіна	33.58	0.45	28	12.5
5	Перекриття:				
6	зверху і знизу проріз	9.44	0.18	18.9	3.4
7	зверху і знизу стіна	10.38	0.07	33.5	2.3
8	зверху стіна, знизу проріз	8.87	0.12	5.5	0.7
9	зверху проріз, знизу стіна	11.29	0.14	5.5	0.8
10	Кути будівлі без колон	22.57	0.11	21	2.3
11	Кути будівлі із колонами	20.29	0.18	24	4.3

Згідно проекту площа стіни в межах поверху (за виключенням прорізів) рівна $A=187 \text{ м}^2$. Опір теплопередачі однорідного фрагмента стіни рівний

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.25}{0.38} + \frac{0.1}{0.0377} + \frac{1}{23} = 3.47 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

Приведений опір теплопередачі стіни, як термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції, визначаємо за формулою

$$R_{\Sigma np} = \frac{A}{A/R_{\Sigma} + \sum_i L_i \cdot \Psi_i + N_1 \cdot \chi_1} = \frac{187}{187/3.47 + 39.77 + 7.48} = 1.85 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

Тоді приведений коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни розглянутого будинку при врахуванні розглянутих містків холоду рівний $0.54 \text{ Вт/(К м}^2\text{)}$. У таблиці 1 подано відсоток вкладу теплопровідних включень у коефіцієнт теплопередачі.

Висновок

Теплопровідні включення стінових огорожувальних конструкцій (вузли примикання елементів) суттєво впливають на приведений опір теплопередачі, а отже і на енергоефективність будівлі.

Результати чисельного моделювання свідчать про необхідність вдосконалення вузлів примикання, зокрема плити перекриття до стінових огорожень для багатоповерхових житлових будинків із монолітним каркасом для підвищення показників енергоефективності огорожувальних конструкцій. Це може бути досягнуто через зміну конструктивних рішень вузлів, зміну матеріалів, зокрема теплоізоляційних, їх товщини, місця розташування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель : К.: Мінрегіон України, 2022. 23 с.
2. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: К.: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 60 с.
3. Agros Suite. <http://www.agros2d.org/>
4. ROCKWOOL. <https://www.rockwool.com/ua/products-and-applications/products/ua-walls/frontrock-super-ua/>.
5. Bauwer. <https://bauwer.ua/products>
6. Ратушняк Г.С., Горюн О.Ю., Лялюк А.О. Моделювання теплопередавання у вузлі примикання віконного блоку до зовнішньої стіни. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Том 29 № 2 (2020)), С.113-118. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-113-118>
7. Yurin O. Determination of optimal variant for insulation of the attic floor of the educational building / O. Yurin, A. Zyhun, A. Kliepko, Mahlinza Qiniso // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава : Нац. ун-т імені Юрія Кондратюка, 2021. Вип. 1 (56). С. 43–52. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/11339>
8. Filonenko O.I. Considering the availability of cold bridges in the design of thermal insulation shell of sandwich panels element-by-element assembly / O.I. Filonenko, L.V. Hasenko, N.M. Mahas, N. Mammadov // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. – 2020. – № 2 (55). – С. 102-108. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/10184>
9. Боднар Ю., Буханець Д. Тепловтрати через стіни малоповерхових житлових будинків з дерев'яним каркасом. Вісник Львівського національного аграрного університету. Львів, 2019. № 20. С. 5-8. <https://doi.org/10.31734/architecture2019.20.005>
10. Панкевич О.Д. Вплив конструктивних рішень вузлових з'єднань (місць примикання конструкцій) на енергоефективність будівлі О.Д. Панкевич, В.В. Миколаєнко, В.В. Панкевич, В.В. Николаєнко. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Том 27 № 2 (2019), 20-29. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-20-29>
11. Jedidi, M.; Benjeddou, O. Effect of thermal bridges on the heat balance of buildings. IJSRCE 2018,2, 41–49. https://www.researchgate.net/publication/329488577_Effect_of_Thermal_Bridges_on_the_Heat_Balance_of_Buildings
12. Kotti, S.; Telia, D.; James, P.A.B. Quantifying thermal bridge effects and assessing retrofit solutions in a Greek residential building. Procedia Environ. Sci. 2017,38, 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.084>
13. T. Theodosiou, K. Tsikaloudaki, D. Bikas Analysis of the Thermal Bridging Effect on Ventilated Facades/ Procedia Environmental Sciences Volume 38, 2017, Pages 397-404. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.121>
14. A. Zegeye and F. Tariku, Analysis of Thermal Bridges in Concrete and Cross-Laminated Timber (CLT) Constructions: A Numerical Study, in: DBMC 2023. URL https://www.scipedia.com/public/Zegeye_Tariku_2023a
15. Curto, D.; Franzitta, V.; Guercio, A.; Martorana, P., FEM Analysis: A Review of the Most Common Thermal Bridges and Their Mitigation, Energies 2022, 15(7), 2318; <https://doi.org/10.3390/en15072318>
16. Borelli, D., Cavalletti, P., Marchitto, A., & Schenone, C. (2020). A comprehensive study devoted to determining linear thermal bridges transmittance in existing buildings. Energy and Buildings, 110136. <https://doi:10.1016/j.enbuild.2020.110136>

REFERENCES

1. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel : K.: Minrehion Ukrainy, 2022. 23 s.
2. DSTU 9191:2022. Teploizoliatsiia budivel. Metod vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel: K.: DP «UkrNDNTs», 2023. 60 s.
3. Agros Suite. <http://www.agros2d.org/>
4. ROCKWOOL. <https://www.rockwool.com/ua/products-and-applications/products/ua-walls/frontrock-super-ua/>.
5. Bauwer. <https://bauwer.ua/products>
6. Ratushniak H.S., Horiun O.Iu., Lialiuik A.O. Modeliuvannia teploperedavannia u vuzli prylykannia vikonnogo bloku do zovnishnoi stiny. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktzii v budivnytstvi.Tom 29 № 2 (2020)), S.113-118. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-113-118>
7. Yurin O. Determination of optimal variant for insulation of the attic floor of the educational building / O. Yurin, A. Zyhun, A. Kliepko, Mahlinza Qiniso // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава : Нац. ун-т імені Юрія Кондратюка, 2021. Вип. 1 (56). С. 43–52. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/11339>
8. Filonenko O.I. Considering the availability of cold bridges in the design of thermal insulation shell of sandwich panels element-by-element assembly / O.I. Filonenko, L.V. Hasenko, N.M. Mahas, N. Mammadov // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. – 2020. – № 2 (55). – С. 102-108. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/10184>
9. Bodnar Yu., Bukhaniets D. Teplovtraty cherez stiny malopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv z derevianym karkasom. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Lviv, 2019. № 20. S. 5-8. <https://doi.org/10.31734/architecture2019.20.005>
10. Pankevych O.D. Vplyv konstruktyvnykh rishen vuzlovykh ziednan (mists prylykannia konstruktzii) na enerhoefektyvnist budivli O.D. Pankevych, V.V. Mykolaienko, V.V. Pankevych, V.V. Nykolaenko. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktzii v budivnytstvi. Tom 27 № 2 (2019), 20-29. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-20-29>
11. Jedidi, M.; Benjeddou, O. Effect of thermal bridges on the heat balance of buildings. IJSRCE 2018,2, 41–49. https://www.researchgate.net/publication/329488577_Effect_of_Thermal_Bridges_on_the_Heat_Balance_of_Buildings
12. Kotti, S.; Telia, D.; James, P.A.B. Quantifying thermal bridge effects and assessing retrofit solutions in a Greek residential building. Procedia Environ. Sci. 2017,38, 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.084>
13. T. Theodosiou, K. Tsikaloudaki, D. Bikas Analysis of the Thermal Bridging Effect on Ventilated Facades/ Procedia Environmental Sciences Volume 38, 2017, Pages 397-404 <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.121>
14. A. Zegeye and F. Tariku, Analysis of Thermal Bridges in Concrete and Cross-Laminated Timber (CLT) Constructions: A Numerical Study, in: DBMC 2023. URL https://www.scipedia.com/public/Zegeye_Tariku_2023a
15. Curto, D.; Franzitta, V.; Guercio, A.; Martorana, P., FEM Analysis: A Review of the Most Common Thermal Bridges and Their Mitigation, Energies 2022, 15(7), 2318; <https://doi.org/10.3390/en15072318>

16. Borelli, D., Cavalletti, P., Marchitto, A., & Schenone, C. (2020). A comprehensive study devoted to determining linear thermal bridges transmittance in existing buildings. *Energy and Buildings*, 110136. <https://doi:10.1016/j.enbuild.2020.110136>

Юрій Іванович Боднар – кандидат технічних наук, доцент. Львівський національний університет природокористування, e-mail: yu.bod18@gmail.com, ORCID 0000-0002-7196-2157.

Максим Володимирович Босецький – аспірант, Львівський національний університет природокористування, e-mail: boset.group@gmail.com, ORCID 0009-0005-2311-3862.

Yu. Bodnar
M. Bosetskyi

THE INFLUENCE OF HEAT-CONDUCTIVE INCLUSIONS ON THE ENERGY EFFICIENCY OF THE EXTERNAL WALLS OF A DWELLING BUILDING WITH A MONOLITHIC FRAME

Lviv National Environmental University

The influence of "cold bridges" on the reduced heat transfer resistance of wall enclosures, which characterizes their thermal insulation properties and energy efficiency, was studied. A nine-story monolithic frame residential building in the city of Lviv was considered. Wall enclosing structures 250 mm thick made of hollow ceramic blocks on a cement-sand mortar. The thermal insulation of the walls is made by the wet method with plates made of mineral wool 100 mm thick. Windows and transparent facade systems made of PVC profiles filled with double-glazed windows. The following heat-conducting inclusions were considered: mineral wool fastening dowels, window slopes, inter-floor and balcony ceilings, columns, corner joints. To determine the reduced heat transfer resistance, modeling of wall nodes was performed using the finite element method using the Agros2D software complex. As a result of the calculations, the temperature fields and heat flows for the corresponding nodes with "cold bridges" were obtained. Based on calculations of two-dimensional temperature fields of wall fragments, linear heat transfer coefficients for linear heat-conducting inclusions were calculated. The reduced heat transfer resistance for the external walls of the building in question was determined, taking into account the named "cold bridges". The results indicate a significant influence of these heat-conducting inclusions. The influence of each heat-conducting inclusion on the heat transfer coefficient was evaluated. It is concluded that heat transfer inclusions such as ceilings have the greatest impact on heat transfer for the house under study. The results of the research will be useful in the analysis of energy efficiency and the design of multi-story residential buildings with a monolithic frame.

Key words: energy efficiency, reduced heat transfer resistance, heat-conducting inclusion, modeling, temperature, exterior walls, monolithic frame, residential building

Yurii Bodnar – candidate of technical sciences, associate professor. Lviv National Environmental University, e-mail: yu.bod18@gmail.com, ORCID 0000-0002-7196-2157.

Maksym Bosetskyi – PhD student, Lviv National Environmental University, e-mail: boset.group@gmail.com, ORCID 0009-0005-2311-3862.