

Розділ 1
АНАЛІТИЧНІ ТА ЧИСЛОВІ МЕТОДИ В МЕХАНІЦІ
ТА ФІЗИЦІ РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

УДК 699.86

ТЕПЛОВТРАТИ ЧЕРЕЗ СТІНИ МАЛОПОВЕРХОВИХ
ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ З ДЕРЕВ'ЯНИМ КАРКАСОМ

Ю. Боднар, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-7196-2157

Львівський національний аграрний університет

Д. Буханец, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-2777-8272

Університет економіки в Бидгощі

<https://doi.org/10.31734/architecture2019.20.005>

Боднар Ю., Буханец Д. Тепловтрати через стіни малоповерхових житлових будинків з дерев'яним каркасом

Досліджено тепловтрати через стінові огороження одноповерхового житлового будинку із дерев'яним каркасом із брусків 50 x 150 мм. Утеплення мінеральною ватою, товщина 150 мм. Каркас виконаний за канадською технологією із влаштуванням надвіконних хедерів. Розглянуто вплив на приведений опір теплопередачі таких теплопровідних включень: кути, віконні відкоси, стійки каркаса. Для визначення приведенного опору теплопередачі змодельовано фрагменти стін методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу Agros2D. У результаті розрахунків фрагментів стін отримано температурні поля та теплові потоки. За нормативною методикою на основі розрахунків двомірних температурних полів фрагментів стін підраховано лінійні коефіцієнти теплопередачі для лінійних теплопровідних включень. Визначено частину впливу кожного теплопровідного включення. Підсумовано, що найбільший вплив на теплопередачу для досліджуваного будинку із дерев'яним каркасом мають такі теплопровідні включення, як стійки каркаса (тепловтрати 23,4%) та бокові відкоси вікон (тепловтрати 7,7%). При врахуванні впливу теплопровідних включень опір теплопередачі знизився, а загальні тепловтрати зросли на 33%. Суттєве зменшення приведенного опору теплопередачі за врахування теплопровідних включень каркаса, а також температура на теплопровідних включеннях у віконних відкосах, нижча за точку роси, свідчать, що для будівництва у першій температурній зоні України необхідно застосовувати перехресне утеплення дерев'яного каркаса. Результати досліджень будуть корисними за проектування малоповерхових житлових будинків з дерев'яним каркасом.

Ключові слова: житловий будинок, дерев'яний каркас, приведений опір теплопередачі, лінійні теплопровідні включення, плоска температурна задача, скінченно-елементна модель, програмний комплекс Agros2D.

Bodnar Yu., Bukhaniets D. Heat loss through the walls of low-rise residential buildings with a wooden frame

The research concerns heat loss through the wall fences of a one-storey residential building with a wooden frame, made of 50 x 150 mm bars. The insulation is done with mineral wool, being 150 mm thick. The carcass is made according to the Canadian technology with the installation of window headers. The work studies the effect of heat transfer of such heat-conducting inclusions on the reduced resistance. The inclusions can be in the form of angles, window slopes, and frame racks. To determine the reduced resistance of heat transfer, the modeling of wall fragments by the finite element method was performed using the Agros2D software. Calculations of the wall fragments supplied temperature fields and heat fluxes. Linear heat transfer coefficients for linear heat-conducting inclusions are calculated According to the normative method, based on computation of two-dimensional temperature fields of wall fragments. The research determines a degree of influence of each heat-conducting inclusion. It is concluded that thermal conductive inclusion, such as frame racks (heat loss accounts for 23,4%) and side slopes of windows (heat loss accounts for 7,7%), have the greatest effect on heat loss in the studied building with a wooden frame. Considering the effect of heat-conducting inclusions, the heat transfer resistance decreased, while the total heat loss increased by 33%. A significant decrease in the reduced heat transfer resistance with consideration of heat-conducting inclusions of the frame, as well as the temperature at heat-conducting inclusions in the window slopes below the dew point, confirm that it is necessary to apply cross-insulation of the wooden frame for the construction in the first temperature zone in Ukraine. The research results will be useful for the design of low-rise wooden-framed houses.

Key words: residential building, wooden frame, resistance to heat transfer, linear thermal conductors, flat temperature problem, finite element model, Agros2D software complex.

Постановка проблеми. На сьогодні надзвичайно актуальним є питання раціонального використання енергії та проектування енерго-ефективних огорожувальних конструкцій будівель. Найефективнішими, як правило, є будівлі, у яких розділені несучі та огорожувальні функції.

Такими є каркасні житлові будинки, у яких каркас призначений для сприйняття навантажень від людей, меблів, снігу, вітру тощо, а стіни – для захисту від несприятливих кліматичних умов, зокрема температурних. У малоповерховому житловому будівництві в Україні набувають популярності будівлі із дерев'яним каркасом. Але поряд із чітко розділеними функціями між каркасом і стіновим заповненням для такої конструктивної схеми мають місце та звані містки холоду (теплопровідні включення) із елементів каркаса, які певною мірою впливають на загальні тепловтрати будинку через огорожувальну конструкцію, а отже, і на потребу енергії для опалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій присвячено чимало публікацій, зокрема [1-5], у яких проаналізовано методики розрахунку, теплотехнічні характеристики різноманітних стінових огорожень урахуванням теплопровідних включень. Але водночас потребують додаткових досліджень питання впливу різних чинників на тепловтрати для малоповерхових житлових будинків з дерев'яним каркасом та застосування вітчизняних нормативних методик для таких досліджень.

Постановка завдання. Наше завдання – оцінка впливу «містків холоду» на тепловтрати через стіни малоповерхових житлових будинків із дерев'яним каркасом.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо одноповерховий будинок із дерев'яним каркасом. Бруски каркаса 150 x 50 мм ($\lambda = 0,18$ Вт/(м·К)), утеплення мінеральною ватою ($\lambda = 0,041$ Вт/(м·К)).

Товщина утеплення 150 мм. Площа зовнішніх стін будинку – $F_{\Sigma} = 104,5$ м², площа вікон – 13,5 м², висота віконних прорізів – 1,5 м, ширина – 1,5 м. Крок стійок каркаса дорівнює 0,6 м. Площа проєкції стійок на площини стін $F_2 = 9,75$ м².

Розглянемо вплив на приведенний опір теплопередачі таких теплопровідних включень: кути, віконні відкоси, стійки каркаса. Зовнішнє оздоблення стін – декоративна штукатурка по пінополістиролу та плитах ОСП. Оскільки між плитами ОСП і утеплювачем є вентиляційний зазор, то цю конструкцію у теплотехнічному розрахунку не враховуємо. Також будемо нехтувати впливом на теплотехнічні параметри внутрішнього оздоблення. При моделюванні приймаємо, що опір теплопередачі віконного профілю дорівнює 0,66 (м²·К)/Вт, опір теплопередачі склопакета – 0,65 (м²·К)/Вт за товщини профілю 70 мм, склопакета – 32 мм. Температуру у приміщеннях приймаємо такою, що дорівнює $t_6 = 20^{\circ}\text{C}$, а ззовні – $t_3 = -22^{\circ}\text{C}$.

Для визначення приведенного опору теплопередачі змодельємо фрагменти стін методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу Agros2D. На рис. 1-4 наведено теплові поля та теплові потоки, отримані у результаті розрахунків фрагментів стін.

Мінімальна температура у куті дорівнює 12 °С, що вище за точку роси 10,7°С.

Мінімальна температура на стику відкоса і віконної рами дорівнює 9,5 °С, що нижче за точку роси. Це свідчить про необхідність додаткового утеплення вузла, наприклад, утеплення зовнішніх відкосів або додаткового перехресного утеплення стін.

Мінімальна температура на стику відкоса і віконної рами дорівнює 10 °С, що є нижче за точку роси.

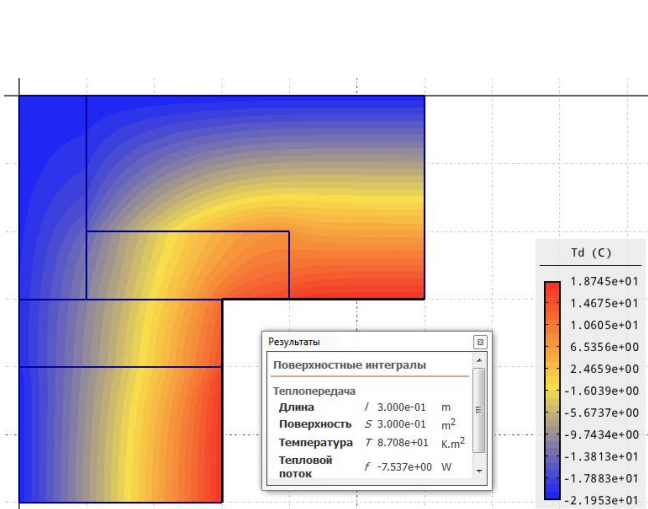


Рис. 1. Температурне поле та його параметри для вузла кута

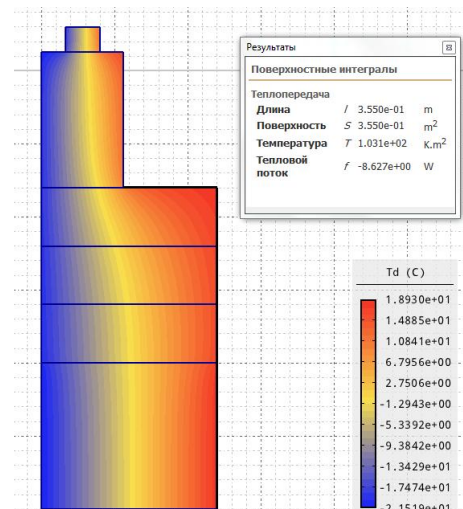


Рис. 2. Температурне поле для вузла бокового відкоса

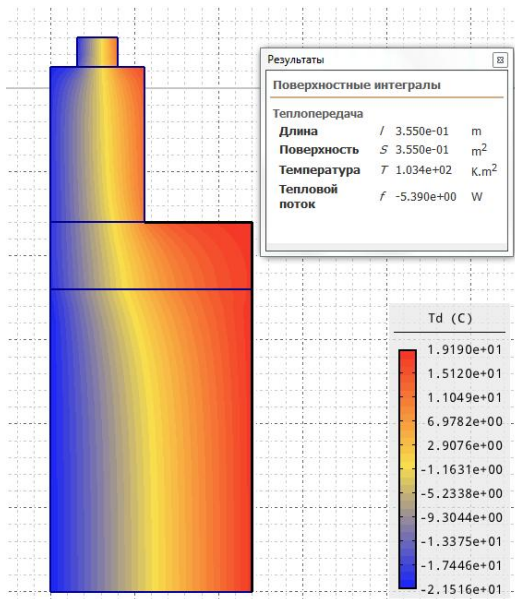


Рис. 3. Температурне поле для вузла нижнього відкоса

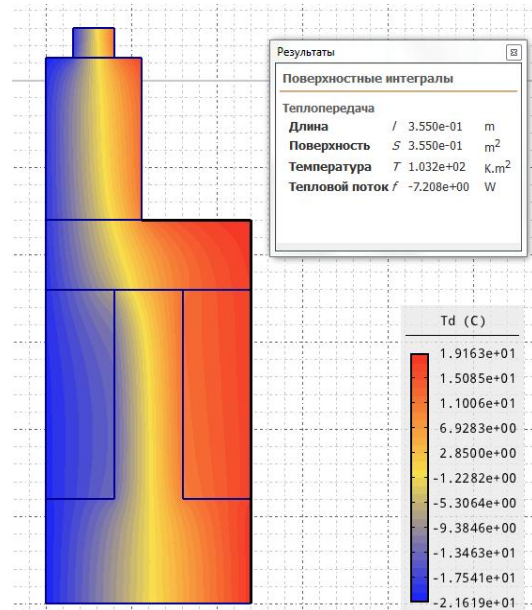


Рис. 4. Температурне поле для вузла верхнього відкоса

Мінімальна температура на стику відкоса і віконної рами дорівнює 9,5 °С, що є нижче за точку роси.

На основі формули (3) норм [6] для визначення приведеного опору теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції для нашої задачі можна записати:

$$\frac{1}{R_{\Sigma np}} = \frac{1}{R_{\Sigma 1}} \cdot \frac{F_1}{F_{\Sigma}} + \frac{1}{R_{\Sigma 2}} \cdot \frac{F_2}{F_{\Sigma}} + k_1 \cdot \frac{L_1}{F_{\Sigma}} + k_2 \cdot \frac{L_2}{F_{\Sigma}} + k_3 \cdot \frac{L_3}{F_{\Sigma}} + k_4 \cdot \frac{L_4}{F_{\Sigma}}$$

де F_{Σ} – загальна площа огорожувальної конструкції; $R_{\Sigma 1}, R_{\Sigma 2}$ – опір теплопередачі 1-ї (утеплювач) та 2-ї (стійки) термічно однорідної частин; F_1, F_2 – площа відповідних термічно однорідних частин; $k_i, (i=1..4)$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі відповідно для таких лінійних теплопровідних включень: кут, бокові, верхні, нижні відкоси; $L_i, (i=1..4)$ – лінійний розмір відповідних теплопровідних включень: кут, бокові, верхні, нижні відкоси.

Лінійні коефіцієнти теплопередачі визначатимемо на підставі розрахунків двовірних температурних полів фрагментів стін. Розраховувати лінійні коефіцієнти теплопередачі для лінійних теплопровідних включень будемо згідно з [7; 8], використовуючи співвідношення

$$k_i = \frac{Q_{zag}}{t_6 - t_3} - \frac{l}{R_{\Sigma}}$$

де Q_{zag} – тепловий потік через розрахункову ділянку фрагмента огорожувальної конструкції з теплопровідним включенням, який визначаємо на основі результатів розрахунків температурного поля; t_6, t_3 – температура внутрішнього та зовнішнього повітря; R_{Σ} – опір теплопередачі термічно однорідної частини фрагмента; l – довжина термічно однорідної частини фрагмента.

Результати розрахунку подано у табл. 1, 2.

Таблиця 1

Вклад термічно однорідних частин стіни у приведений коефіцієнт теплопередачі (питомі тепловтрати)

№	Частина стіни	$\frac{F_i}{F_{\Sigma}}, \text{ м}^2/\text{м}^2$	$\frac{1}{R_{\Sigma i}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	$\frac{1}{R_{\Sigma i}} \cdot \frac{F_i}{F_{\Sigma}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	Частка тепловтрат, %
1	Однорідна частина 1 (утеплення)	0,907	0,262	0,237	60,3
2	Однорідна частина 2 (стійки)	0,093	0,992	0,092	23,4

**Вклад лінійних теплопровідних включень
у приведений коефіцієнт теплопередачі (питомі тепловтрати)**

№	Фрагмент стіни	$\frac{L_i}{F_\Sigma}$, м/м ²	k_i , Вт/(м · °С)	$k_i \cdot \frac{L_i}{F_\Sigma}$, Вт/(м ² · °С)	Частка тепловтрат, %
1	Кут будівлі	0,115	0,127	0,015	3,8
2	Бокові відкоси вікон	0,172	0,173	0,030	7,7
3	Верхні відкоси вікон	0,086	0,152	0,013	3,3
4	Нижні відкоси вікон	0,086	0,069	0,006	1,5

На основі табл. 1, 2 загальні питомі тепловтрати (коефіцієнт тепловтрат) для стін будинку з урахуванням розглянутих «містків холоду» дорівнюють 0,393 Вт/(м² · °С). Тоді приведений опір теплопередачі стін дорівнюватиме 2,545 м² · °С / Вт.

Висновки. Найбільший вплив на теплопередачу будинку із дерев'яним каркасом мають такі теплопровідні включення, як стійки каркаса (тепловтрати 23,4%) та бокові відкоси вікон (7,7%). Опір теплопередачі стіни, визначений за однорідною її частиною, становить 3,817 м² · °С / Вт. Враховуючи вплив теплопровідних включень, опір теплопередачі знизився на 33%, і приведений опір склав 2,545 м² · °С / Вт. Оскільки для 1 температурної зони згідно з нормами [9] мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції дорівнює 3,3 м² · °С / Вт, то для будівництва у цій зоні необхідно застосовувати перехресне утеплення. Також додаткове утеплення необхідне, оскільки температура на контакті більшості віконних відкосів з рамою є нижчою за температуру точки роси. Отримані результати необхідно обов'язково враховувати під час проектування.

Бібліографічний список

1. Протасевич А.М., Крутилин А.Б. Приведенное сопротивление теплопередаче современных наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. *Энергоэффективность*. 2013. № 8. С. 20–25.

2. Боднар Ю., Пиць О. Теплотехнічні характеристики зовнішніх газобетонних стін одноповерхового житлового будинку із врахуванням теплопровідних включень. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XVIII Міжнарод. наук.-практ. форуму*. 2017. С. 335-338.

3. Кривошеин А.Д., Федоров С.В. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. *Инженерно-строительный журнал*. 2010. № 8. С. 21–27.

4. Murray S. Thermal bridging and whole building energy performance / Morrison Hershfield, Ontario Association of architects. URL: <http://www.oaa.on.ca/oaamedia/documents/Thermal%20Bridging%20And%20Whole%20Building%20Energy%20Performance.pdf> (дата звернення: 24.06.2019)

5. Семко О.В., Юрін О.І. Вплив взаємного розташування зовнішнього кута будинку та віконного прорізу на температуру внутрішньої поверхні кута. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво*. 2013. Вип. 4(2). С. 182-190.

6. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ, 2014. 51 с.

7. ДСТУ ISO 10211-2:2005. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Ч. 2. Лінійні теплопровідні включення. Київ, 2008. 12 с.

8. Філоненко О.І., Юрін О.І. Енергетична ефективність будинків: навч. посіб. Полтава: Астроя. 2018. 484 с.

9. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ, 2017. 31 с.

Стаття надійшла 09.07.2019.