

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ СТІНИ ОДНОПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ДЕРЕВ'ЯНИМ КАРКАСОМ

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені Степана Ґжицького (північний кампус),
м. Дубляни

У роботі досліджується застосування температурного методу до натурного експериментального визначення опору теплопередачі стін житлового будинку із дерев'яним каркасом. Теплоізоляційний шар із мінераловатних плит товщиною 150 мм. Однією із основних переваг методу температур є відносно недороге обладнання та відносна простота обробки результатів вимірювань. Знання реального опору теплопередачі є важливим для забезпечення енергоефективності старих будівель та новозбудованих. Першим це необхідно для їх термомодернізації з метою підвищення енергоефективності. Для других це необхідно з метою контролю проектування та виконання робіт, досягнення запланованих параметрів енергоефективності. Використано метод температур, який полягає у реєстрації з заданим інтервалом температури у приміщенні, ззовні та температури внутрішньої поверхні досліджуваної стіни. Застосовано температурні реєстратори Elitech RC-4HC, Inkbird IBS-TH2, UNI-T UT325F. При вимірюваннях дотримувались певних вимог: різниця температур ззовні та всередині будинку не менше 15°C, зміна внутрішньої температури не більше 2°C, зміна зовнішньої температури не більше 5°C, вимірювання температури на висоті 1,5 м над підлогою, датчики внутрішньої і зовнішньої температури повітря розташовувались на відстані 30 см від стіни, температура на поверхні стіни вимірювалась трьома термомпарами з відстанню між ними 10-15 см. Вибір термічно однорідної ділянки для вимірювання здійснювався з використанням аналізу конструкції стіни та результатів інфрачервоної термографії. Досліджено для даної конструкції вплив на результати тривалості вимірювань та методики опрацювання результатів вимірювань.

Ключові слова: енергоефективність, житловий будинок, опір теплопередачі, натурні вимірювання, конструкції, дерев'яний каркас, температура, температурний метод.

Вступ

На сьогоднішній день питання енергоефективності житлових будинків, зокрема малоповерхових одноквартирних, є надзвичайно актуальним. Адже на сектор житлових будівель припадає 33,2% кінцевого споживання енергії в Україні [1]. Багато житлових будинків в Україні, особливо старої забудови, енергозатратні. Фактичне середнє питоме енергоспоживання житла у першій температурній зоні становить 214 кВт·год/м² [1], що в рази більше за даний показник у країнах Євросоюзу. Важливо підкреслити, що основним джерелом споживання енергії є опалення будинків. Отже енергоефективність будівель у значній мірі залежить від теплоізоляційних параметрів огорожувальних конструкцій, зокрема зовнішніх стін. Актуальним є питання термомодернізації існуючих та будівництва нових енергоефективних житлових будівель. А для цього потрібні зручні, недорогі, надійні та апробовані методи експериментального визначення теплоізоляційних параметрів огорожувальних конструкцій будівель для контролю реальної енергоефективності та енергетичної сертифікації. Основна частина енергії, яка споживається на етапі експлуатації житлових будинків, надходить з невідновлювальних та дорогих ресурсів. Тому енергоефективні будинки дозволять зменшити експлуатаційні витрати, зберегти ресурси та екологію, зменшивши викиди вуглекислого газу.

Існує ряд методів натурного експериментального визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій [2, 3]. Стандартизованим є метод теплового потоку [4, 5, 6]. Цей метод базується на прямому вимірюванні теплового потоку через конструкцію, що є його великим плюсом. Але поряд з цим датчики та обладнання для вимірювань є дорогими, у багатьох випадках вимірювання є довготривалими. Одним із недорогих методів визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій існуючих будівель є метод температур [7, 8, 9]. Він полягає у визначенні опору теплопередачі на основі вимірювання температури повітря у середині будівлі, ззовні та температури поверхні стіни у приміщенні. Метод знайшов застосування при енергетичному аудиті будівель в Іспанії [7]. На наш погляд існує потреба апробації та подальшого вивчення методу з метою застосування для натурних вимірювань та енергоаудиту будівель в Україні.

Мета роботи полягає у визначенні експериментальним шляхом опору теплопередачі конкретного житлового будинку із дерев'яним каркасом у м. Львові із достатньою точністю, використанням недорогого обладнання та мінімальними затратами часу. Це може бути зроблено на основі методу

температур. Також буде досліджено для даної конструкції вплив на результати тривалості вимірювань та методики опрацювання результатів вимірювань.

Основна частина

Виконано експериментальне дослідження опору теплопередачі зовнішніх стін малоповерхового житлового будинку із дерев'яним каркасом у м. Львові. Теплоізоляція мінераловатними плитами. Конструкція однорідного фрагменту стіни приведена на рис.1.

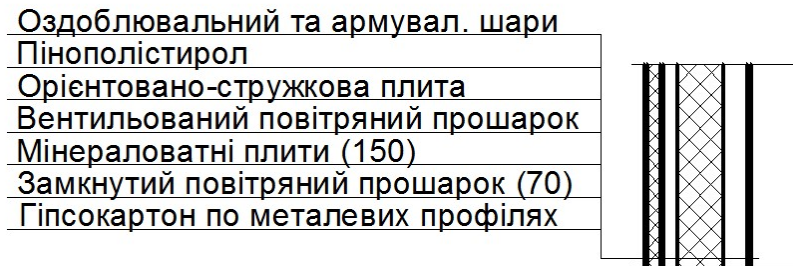


Рисунок 1 – Конструкція термічно однорідної ділянки стіни

Теоретичне значення опору теплопередачі однорідного фрагмента стіни згідно [10] рівне

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.012}{0.21} + 0.144 + \frac{0.15}{0.041} + \frac{1}{12} = 4.06 \text{ м}^2 \text{ К / Вм} \quad (1)$$

Перед вимірюваннями проводився огляд огорожувальної конструкції та її аналіз за результатами інфрачервоної термографії для уникнення теплових мостів та вибору для вимірювання термічно-однорідної ділянки. Температура середовища всередині приміщення та зовні записувалась реєстраторами Elitech RC-4HC та Inkbird IBS-TH2, а температура поверхні стіни - реєстратором UNI-T UT325F (рис.2). Температура фіксувалась з інтервалом 1 хвилину. При розміщенні датчиків температури, дотримувались наступних рекомендацій [7,8]: на поверхні температура вимірювалась в трьох точках (рис.3) з визначенням середнього значення, відстань між термопарами 10-15см, відстань від підлоги - 1.5м; датчики внутрішньої і зовнішньої температури повітря розташовувались максимально на одній горизонталі на відстані 30 см від стіни, щоб уникнути конвективних ефектів.



Рисунок 2 - Реєстратор температури поверхні стіни

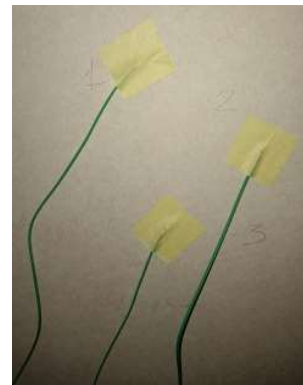


Рисунок 3 - Розміщення датчиків температури стіни

Тривалість вимірювань 10 годин (21:00 - 7:00 год.). У зв'язку із відривом датчика дані на інтервалі 2:40 - 3:03 год. вилучені з розгляду. За період вимірювань температура зовнішнього повітря змінювалась в інтервалі 2.0 - 6.2°C, внутрішнього - 21.9 - 23.5°C. На рис.4 подано графіки зміни температури всередині приміщення (T_i), зовні (T_e) та температури на поверхні стіни (T_{si}) побудовані на основі зафіксованих реєстраторами значень

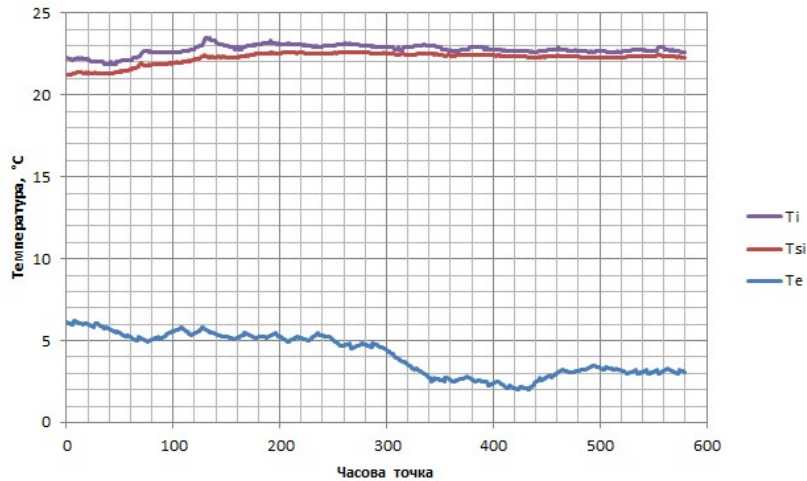


Рисунок 4 – Графіки зміни температур всередині приміщення (Ti), ззовні (Te) та на поверхні стіни (Tsi)

В основі вимірювань опору теплопередачі температурним методом лежить співвідношення:

$$R = \frac{1}{h_{si}} \frac{(T_i - T_o)}{(T_i - T_{si})} \quad (2)$$

де T_i - температура повітря в приміщенні, T_o - температура повітря на вулиці, T_{si} - температура поверхні стіни у приміщенні, h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни. При розрахунках приймемо цей коефіцієнт тепловіддачі згідно [10] рівним $8.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Зауважимо, що питання обґрунтування вибору h_{si} потребує додаткових досліджень. Так згідно норм [11] цей коефіцієнт рівний $7.69 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Враховуючи підходи до обробки результатів вимірювань наведені у [7, 9] опір теплопередачі можна визначати за однією із формул:

$$R = \frac{1}{h_{si}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n (T_{i,j} - T_{o,j})}{\sum_{j=1}^n (T_{i,j} - T_{si,j})} \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{U}; \quad U = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(h_{si} \cdot \frac{T_{i,j} - T_{si,j}}{T_{i,j} - T_{o,j}} \right) \quad (4)$$

де j - номер спостереження, n - загальна кількість спостережень набору даних. Різниця значень опорів теплопередачі отриманими за цими формулами є незначною. На рис.5 подано графік залежності цієї різниці у відсотках від кількості спостережень.



Рисунок 5 - Різниця між результатами отриманими згідно (3) та (4)

При збільшенні тривалості вимірювань (кількості спостережень) отриманий опір теплопередачі зростає і при тривалості 10 годин (600 спостережень) рівний згідно формули (4) $4.09 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$ (рис.6) і згідно формули (3) $4.18 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$. Причому зростання сповільнюється, різниця між послідовними значеннями у кінці складає 0.08% . На рис.7 подано залежність у відсотках різниці між значеннями опору теплопередачі визначеними із зростанням кількості спостережень.



Рисунок 6 – Залежність опору теплопередачі від кількості спостережень



Рисунок 7 – Різниця між підрахованими значеннями опору теплопередачі

Висновок

Вимірювання опору теплопередачі (коефіцієнта теплопередачі) в натурних умовах з застосуванням недорогого обладнання та на протязі незначного часу, яке необхідне для оцінки реальних параметрів енергоефективності огорожувальних конструкцій нових будинків та старих перед та після термомодернізації може бути здійснено із застосуванням температурного методу.

Значення опору теплопередачі отримане температурним методом суттєво залежить від кількості спостережень. При збільшенні кількості спостережень значення наближається до теоретичного.

Для огорожувальних конструкцій із дерев'яним каркасом при дотриманні певних вимог можна застосовувати температурний метод визначення опору теплопередачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довгострокова стратегія термомодернізації будівель на період до 2050 року. Додаток 2. https://mtu.gov.ua/files/2.2._%D0%94%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BA_2.pdf
2. B. Mobaraki, F.J. Castilla Pascual, A. M. García, M. A. Mellado Mascaraque, B. F. Vázquez, C. Alonso. (2023). Studying the impacts of test condition and nonoptimal positioning of the sensors on the accuracy of the in-situ U-value measurement, *Heliyon* 9 (2023) e17282, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17282>
3. Teni, M., Krstić, H., Kosiński, P. (2019). Review and Comparison of Current Experimental Approaches for In-situ Measurements of Building Walls Thermal Transmittance. *Energy and Buildings*, 109417. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109417>
4. ISO 9869-1:2014. Thermal insulation - Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method. Edition 1
5. ASTM C1046 : 95(2021). Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components, 2021.
6. ДСТУ-Н Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
7. Bienvenido-Huertas, D., Rodríguez-Alvaro, R., Moyano, J., Rico, F., Marín, D. (2018). Determining the U-Value of Façades Using the Thermometric Method: Potentials and Limitations. *Energies*, 11(2), 360. <https://doi.org/10.3390/en11020360>
8. Bienvenido-Huertas, D., Moyano, J., Marín, D., Fresco-Contreras, R. (2019). Review of in situ methods for assessing the thermal transmittance of walls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 356–371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.016>
9. Kim, S.-H., Kim, J.-H., Jeong, H.-G., Song, K.-D. (2018). Reliability Field Test of the Air–Surface Temperature Ratio Method for In Situ Measurement of U-Values. *Energies*, 11(4), 803. <https://doi.org/10.3390/en11040803>
10. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
11. ISO 6946:2017. Building components and building elements .Thermal resistance and thermal transmittance . Calculation methods Edition 3 2017-06

REFERENCES

1. Dovhostrokovia stratehiia termomodernizatsii budivel na period do 2050 roku. Dodatok 2. https://mtu.gov.ua/files/2.2._%D0%94%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BA_2.pdf
2. B. Mobaraki, F.J. Castilla Pascual, A. M. García, M. A. Mellado Mascaraque, B. F. Vázquez, C. Alonso. (2023). Studying the impacts of test condition and nonoptimal positioning of the sensors on the accuracy of the in-situ U-value measurement, *Heliyon* 9 (2023) e17282, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17282>
3. Teni, M., Krstić, H., Kosiński, P. (2019). Review and Comparison of Current Experimental Approaches for In-situ Measurements of Building Walls Thermal Transmittance. *Energy and Buildings*, 109417. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109417>
4. ISO 9869-1:2014. Thermal insulation - Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method. Edition 1
5. ASTM C1046 : 95(2021). Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope

- Components, 2021.
6. DSTU-N B V.2.6-101:2010 Konstruktsii budynkiv i sporud. Metod vyznachennia oporu teploperedachi ohorodzhuvalnykh konstruktsii K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010.
 7. Bienvenido-Huertas, D., Rodríguez-Álvaro, R., Moyano, J., Rico, F., Marín, D. (2018). Determining the U-Value of Façades Using the Thermometric Method: Potentials and Limitations. *Energies*, 11(2), 360. <https://doi.org/10.3390/en11020360>
 8. Bienvenido-Huertas, D., Moyano, J., Marín, D., Fresco-Contreras, R. (2019). Review of in situ methods for assessing the thermal transmittance of walls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 356–371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.016>
 9. Kim, S.-H., Kim, J.-H., Jeong, H.-G., Song, K.-D. (2018). Reliability Field Test of the Air–Surface Temperature Ratio Method for In Situ Measurement of U-Values. *Energies*, 11(4), 803. <https://doi.org/10.3390/en11040803>
 10. DSTU 9191:2022. Teploizoliatsiia budivel. Metod vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel: K.: DP «UkrNDNTs», 2023.
 11. ISO 6946:2017. Building components and building elements .Thermal resistance and thermal transmittance . Calculation methods Edition 3 2017-06

Юрій Іванович Боднар – кандидат технічних наук, доцент. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені Степана Гжицького (північний кампус), м. Дубляни, e-mail: yu.bod18@gmail.com, ORCID 0000-0002-7196-2157.

Любомир Ярославович Горон – аспірант, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені Степана Гжицького (північний кампус), м. Дубляни, e-mail: lubomurgoron@gmail.com, ORCID 0009-0009-0953-0810.

Yu. Bodnar
L. Horon

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE HEAT TRANSFER RESISTANCE OF THE WALL OF A SINGLE-STOREY RESIDENTIAL BUILDING WITH A WOODEN FRAME

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv (north campus), Dublyany

The paper investigates the application of the temperature method to the full-scale experimental determination of the heat transfer resistance of the walls of a residential building with a wooden frame. Thermal insulation layer of mineral wool boards 150 mm thick. One of the main advantages of the temperature method is the relatively inexpensive equipment and the relative simplicity of processing the measurement results. Knowledge of the real heat transfer resistance is important for ensuring the energy efficiency of old and newly built buildings. For the former, this is necessary for their thermal modernization in order to increase energy efficiency. For the latter, this is necessary to control the design and execution of work, achieving the planned energy efficiency parameters. The temperature method was used, which consists in recording the temperature in the room, outside and the temperature of the inner surface of the wall under study with a given interval. Elitech RC-4HC, Inkbird IBS-TH2, UNI-T UT325F temperature recorders were used. During the measurements, certain requirements were met: the temperature difference between the outside and inside of the house was not less than 15°C, the change in the internal temperature was not more than 2°C, the change in the external temperature was not more than 5°C, the temperature was measured at a height of 1.5m above the floor, the internal and external air temperature sensors were located at a distance of 30 cm from the wall, the temperature on the wall surface was measured by three thermocouples with a distance between them of 10-15 cm. The selection of a thermally homogeneous area for measurement was carried out using the analysis of the wall structure and the results of infrared thermography. The influence of measurement duration and measurement results processing methods on the results of this design was investigated.

Key words: energy efficiency, residential building, heat transfer resistance, full-scale measurements, structures, wooden frame, temperature, temperature method

Yurii Bodnar – candidate of technical sciences, associate professor. Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv (north campus), Dublyany, e-mail: yu.bod18@gmail.com, ORCID 0000-0002-7196-2157.

Lubomyr Horon – PhD student, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv (north campus), Dublyany, e-mail: lubomurgoron@gmail.com, ORCID 0009-0009-0953-0810.