

Філоненко О. І., д.т.н., професор, Токарь Б. С., студент
(Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», olena.filonenko.pf@gmail.com, bogdan07771@gmail.com)

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТУ НА ТЕПЛОВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ СТІНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО З НИМ МЕЖУЮТЬ

В статті досліджено тепловологісні характеристики ґрунту прифундаментної зони громадської будівлі з підвальними приміщеннями. Дослідним шляхом визначено коефіцієнт теплопровідності ґрунту та його вологість. Проаналізовано вплив характеристик ґрунту навколофундаментної зони на стіни, які заглиблено в ґрунт. Розроблені рекомендації з подальшої експлуатації стінових конструкцій, що межують з ґрунтом.

Ключові слова: теплопровідність; ґрунт; утеплення; стіна; вологість.

За сучасними вимогами з розробки інженерно-технічних заходів з цивільного захисту при реконструкції будівель необхідно переобладнувати підвальні приміщення в приміщення подвійного призначення. Технічне обстеження конструкцій підвальних приміщень виявило, що переважна більшість знаходиться у непридатному до нормальної експлуатації стані.

Одним з об'єктів обстеження було приміщення подвійного призначення – підвальні приміщення навчального корпусу університету в місті Полтава. При обстеженні виявлено замокання стін, що межують з ґрунтом, вимивання розчину між цеглою та фундаментними блоками та затоплення підвальних приміщень. Це відбувалося внаслідок руйнування асфальтового вимощення, приямків вікон та порушення герметичності вертикального гідроізоляційного шару (рис. 1).

Досліджено конструкції найпростішого укриття адміністративної будівлі в місті Полтава. Будівля історична, побудована в кінці 19 століття. Зводилась як приватний маєток з просторими підвальними приміщеннями господарського призначення, які зараз можна обладнати під укриття. При обстеженні виявлено порушення повітро-вологісного режиму приміщень, що призвело до корозії металевих балок перекриття та плісняви на стінах. Руйнування зовнішнього вертикального гідроізоляційного шару стіни в ґрунті (або його відсутність з часу будівництва), що призвело до руйнування цегляної кладки стін

підвалу та утворенню грибка (рис. 2).



а)



б)

Рис. 1. Дефекти конструкцій навколофундаментної зони: а) замокання стін, що межують з ґрунтом; б) руйнування вимощення та приямків вікон підвалу



а)



б)

Рис. 2. Дефекти стінових конструкцій, що межують з ґрунтом: а) корозія металевих балок перекриття та пліснява на стінах; б) руйнування цегляної кладки, утворення грибка

Дослідження передбачало аналіз наукових розробок та публікацій з проблеми ефективного утеплення та захисту від вологи огорожувальних конструкцій. Для збереження теплотехнічних характеристик у конструкціях «стіна-перекриття» та підбору відповідних заходів було проаналізовано роботу [1]. У публікації [2] розглянуто заходи з уникнення випадання конденсату на стінову конструкцію під час після утеплення. Для уникнення замокання та випадання значної кількості вологи у підвальних приміщеннях проаналізовано рекомендації [3], а для уникнення протікання вологи з ґрунту на стінові конструкції під час та після опадів – [4].



Особливості визначення теплотехнічних характеристик залежно від навколишнього середовища розглянуто у роботах [5; 8; 9]. Заходи із запобігання утворення плісняви в підвальних приміщеннях визначені у публікації [6]. Проаналізовано заходи для реставрації стінових конструкцій та підвищення енергоефективності будівлі [7]. Вимоги до контролю вологості при експлуатації будівель враховано за рекомендаціями [10], а вплив температури приміщень на стан людини [11]. Ґрунтові умови навколо фундаментної зони впливають на температурно-вологісний режим конструкцій будівель, що межують з ґрунтом. Постійне замокання та промерзання стінових конструкцій призводить до морозобійного руйнування та, як наслідок, до втрати несучої здатності. Тому дослідження тепловологісних характеристик системи ґрунт-стіна є актуальними.

Мета: Дослідження тепловологісних характеристик ґрунту навколофундаментної зони для розроблення заходів з утеплення конструкцій, що межують з ґрунтом.

Об'єкт дослідження: ґрунтові умови навколофундаментної зони.

Предмет дослідження: тепловологісні характеристики ґрунту.

Основна частина. З метою визначення тепловологісних характеристик ґрунту навколофундаментної зони громадської будівлі з експлуатованим підвалом проводилось дослідження коефіцієнту теплопровідності ґрунту та визначення його вологості в умовах експлуатації. Дослідження проведено у лабораторних умовах на базі лабораторії будівельної фізики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» на дослідних зразках, які відбирались при розробці ґрунту навколо навчального корпусу університету у місті Полтава. Ґрунт відбирався на відстані 1,0 м від зовнішньої огорожувальної конструкції на різних глибинах від 1,0 м до 4,0 м від денної поверхні (рис. 3).

Вимірювання коефіцієнту теплопровідності проводилось вимірювачем теплопровідності ІТС-1 (рис. 4), який призначений для: визначення теплопровідності і термічного опору широкого спектру будівельних і теплоізоляційних матеріалів методом стаціонарного теплового потоку, визначення теплопровідності за середньої температури зразка 12–43° С, обчислення термічного опору.

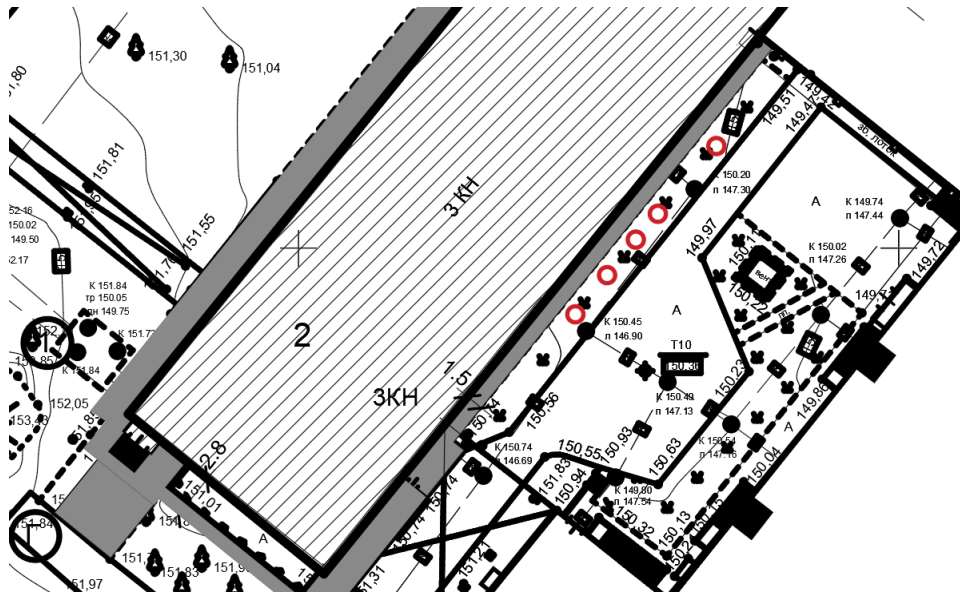


Рис. 3. Генеральний план місцевості (червоні кола – місця відбору зразків ґрунту)

Для визначення коефіцієнту теплопровідності ґрунту вибрано п'ять зразків. Зразок розмірами 150×150 мм, товщиною 20–30 мм (рис. 4). Величина коефіцієнту теплопровідності в середньому склала 1,718 Вт/м · К.

В лабораторних умовах визначалась вологість відібраних зразків ґрунту. Проби збирали у бюкси і зважували на аналітичних вагах у день їх взяття. Потім проби висушували до постійної ваги, знову зважували. Масову вологість обчислювали за відношенням різниці ваги матеріалу у природному та сухому стані до ваги матеріалу після висушування. Результати вимірювання вологості зіставлялись з вимогами згідно з ДБН В.2.6-31 та оцінювали стан вологості ґрунту. Вологість склала 17–17,5%.

Визначено коефіцієнт теплопровідності для 4-х зразків вологого ґрунту. П'ятий зразок ґрунту мав вологість, яка перевищує межі допустимої вологості приладу ІТС-1.



а)



б)

Рис. 4. Опис зразків ґрунту: а) зразок ґрунту 150×150 мм, товщиною 20–30 мм; б) прилад ІТС-1 з дослідним зразком

Для 1-го зразку ґрунту, наприклад, (при середній висоту перерізу 2,846 см та часу випробування 1 год 19 хв) коефіцієнт теплопровідності становив 1,718 Вт / м · К (рис. 5, а).

Для 2-го зразку ґрунту (при середній висоту перерізу 1,964 см та часу випробування 1 год 3 хв) коефіцієнт теплопровідності становив 1,373 Вт / м · К (рис. 5, б).



а)



б)

Рис. 5. Значення коефіцієнта теплопровідності випробувальних зразків: а) зразок ґрунту № 1; б) зразок ґрунту № 2

Для дослідження впливу характеристик ґрунту навколофундаментної зони на тепловологісний стан конструкцій, що межують з ґрунтом, проведено моделювання відповідного вузла (рис. 6, а) методом кінцевих елементів. Досліджено стан стіни підвального приміщення навчального корпусу університету. З метою

подальшого аналізу, була розроблена розрахункова схема (рис. 6, б) для програмного комплексу ELCUT.

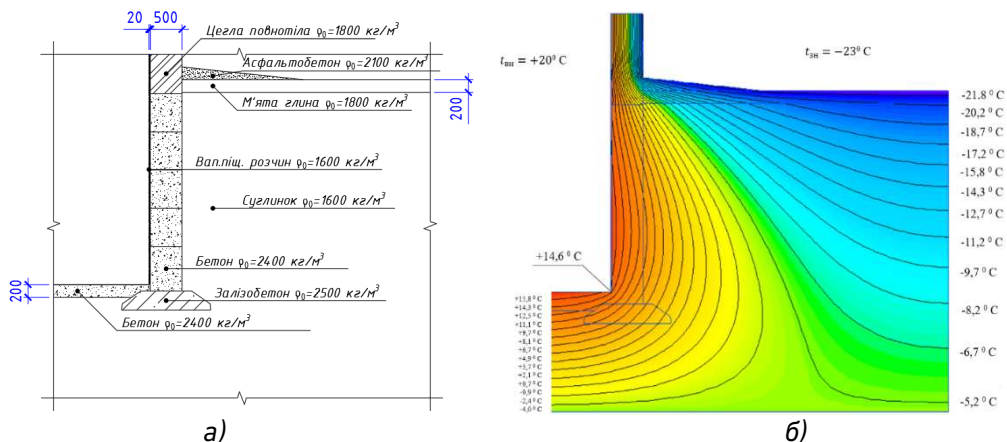


Рис. 6. Розроблення розрахункової схеми та моделі для програмного комплексу ELCUT: а) розрахункова схема фрагменту огорожувальної конструкції; б) модель ELCUT фрагменту відповідної огорожувальної конструкції

Для визначення впливу коефіцієнтів теплопровідності ґрунтів навколофундаментної зони на температуру внутрішньої поверхні стіни підвалу розроблено модель фрагменту відповідної огорожувальної конструкції з показниками, зазначеними на рис. 6.

Граничні умови, які прийнято на межах області моделювання.

Граничні умови I роду – завдання розподілу температури по поверхні тіла в будь-який момент часу.

Гранична умова II роду – завдання щільності теплового потоку для кожної точки поверхні тіла, як функції часу.

Гранична умова III роду – завдання температури навколишнього середовища і закону теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем.

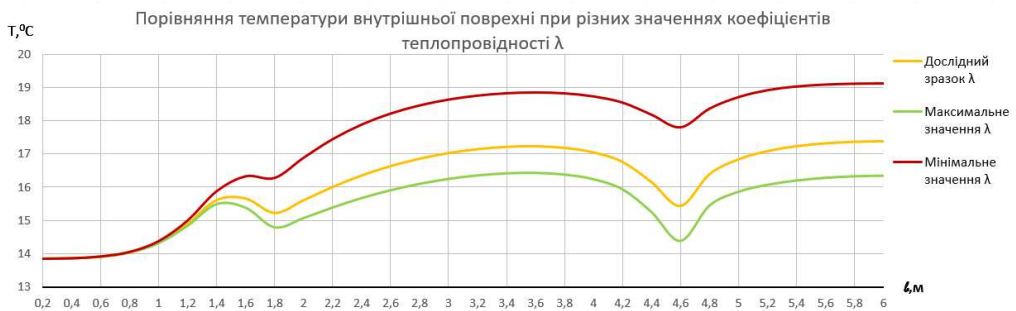
Під час проведення експерименту було проаналізовано коефіцієнти теплопровідності для різних ґрунтів різної щільності (пісок, супісок, суглинок-глина). Вибиралися максимальні та мінімальні значення коефіцієнтів теплопровідності для даних ґрунтів. За результатами обробки максимальна температура внутрішньої поверхні стіни на рівні підлоги ($T=17,39^{\circ}\text{C}$) огорожувальної конструкції виявилась за суглинка-глини ($\lambda=0,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$). Мінімальна температура внутрішньої поверхні ($T=15,5^{\circ}\text{C}$) огорожувальної конструкції виявилась для піску ($\lambda=2,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$). Для дослідних зразків середня температура

внутрішньої поверхні становить $T=16,11^{\circ}\text{C}$, при коефіцієнті теплопровідності $\lambda=1,7185\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Теплотехнічні характеристики ґрунту впливають на тепловтрати конструкцій, які з ним межують, але ґрунт по ефективності не замінює плитний утеплювач з коефіцієнтом теплопровідності менше за $0,05\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Для більшого розуміння значень температури та теплових потоків в конструкції стіни підвалу було побудовано порівняльні діаграми. Крок розподілу температури та теплового потоку на внутрішній частині огороджувальної конструкції становить 200 мм . Побудовані порівняльні графіки за середньою температурою (рис. 7, а), та теплового потоку внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції (рис. 7, б).

а)



б)

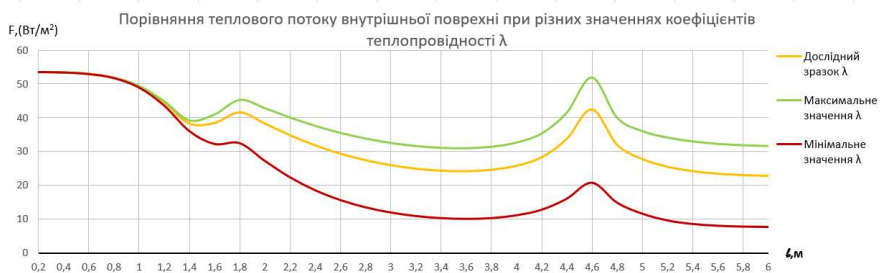


Рис. 7. Порівняльні графіки: а) розподілу середньою температури на внутрішній поверхні стіни; б) розподілу теплового потоку

Рекомендації з подальшої експлуатації. За результатами дослідження огороджувальних конструкцій, що межують з ґрунтом, експлуатованих приміщень визначено необхідність у всіх об'єктах реконструкції проводити відновлення зовнішнього вертикального гідроізоляційного шару та виконувати утеплення, наприклад, пінополістиролом. При виконанні відповідних робіт у навчальному корпусі університету в місті Полтаві проводились розробка ґрунту

навколо будівлі до рівня підлоги підвалу; улаштування гідроізоляційної обмазки конструкцій мастикою в 2 рази; утеплення конструкцій пінополістиролом товщиною 150 мм; улаштування захисної мембрани, зворотна засипка ґрунту з пошаровим ущільненням та відновлення герметичного вимощення шириною 1500 мм.

Висновок:

- 1) При розрахунку товщини утеплення стінових конструкцій, що межують з ґрунтом, потрібно враховувати теплоізоляційні характеристики ґрунту навколо фундаментної зони;
- 2) Теплоізоляційні властивості ґрунту (коефіцієнт теплопровідності ґрунту 1,5–2 Вт/м · К) не є достатніми для утеплення підвальних приміщень.
- 3) Тип ґрунту навколо фундаментної зони неутеплених конструкцій не впливає на розподіл температур на їх внутрішній поверхні.

1. Heat and moisture transfer in wall-to-floor thermal bridges and its influence on thermal performance. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778822008131> (дата звернення: 10.07.2024). 2. Humid Wall: Review on Causes and Solutions. URL: https://www.researchgate.net/publication/317345950_Humid_Wall_Review_on_Causes_and_Solutions (дата звернення: 10.07.2024). 3. Analysis of heat and moisture behavior in the underground space and surrounding ground. URL: https://www.researchgate.net/publication/313357463_ANALYSIS_OF_HEAT_AND_MOISTURE_BEHAVIOR_IN_THE_UNDERGROUND_SPACE_AND_ITS_SURROUNDING_GROUND (дата звернення: 10.07.2024). 4. Quantification of moisture flux from the wall surface in contact with the ground in a semi-underground space based on measurements and hygro thermal analysis. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223009828> (дата звернення: 10.07.2024). 5. A Review on the Impact of Outdoor Environment on Indoor Thermal Environment. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/10/2600> (дата звернення: 10.07.2024). 6. The moisture distribution in wall-to-floor thermal bridges and its influence on mould growth. URL: <https://ucl.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14324/111.444/ucloe.000042> (дата звернення: 10.07.2024). 7. Building Envelopes: What they are and how they improve the energy efficiency of a structure. URL: <https://thermtest.com/building-envelopes-what-they-are-and-how-they-improve-the-energy-efficiency-of-a-structure> (дата звернення: 10.07.2024). 8. Influence of Temperature on the Thermo-Humidity Conditions of Wall Materials. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/influence-of-temperature-on-the-thermo-humidity-conditions-of-wall-materials> (дата звернення: 10.07.2024). 9. What Climate Factors are Important Considerations for Building Projects? URL: <https://www.build-review.com/what-climate-factors-are-important->

considerations-for-building-projects/ (дата звернення: 10.07.2024).
10. Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/moisture-control.pdf> (дата звернення: 10.07.2024).
11. Thermal comfort. URL: <https://www.ecophon.com/en/about-ecophon/functional-demands/thermal-comfort/> (дата звернення: 10.07.2024).

REFERENCES:

1. Heat and moisture transfer in wall-to-floor thermal bridges and its influence on thermal performance. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778822008131> (data zvernennia: 10.07.2024). **2.** Humid Wall: Review on Causes and Solutions. URL: https://www.researchgate.net/publication/317345950_Humid_Wall_Review_on_Causes_and_Solutions (data zvernennia: 10.07.2024). **3.** Analysis of heat and moisture behavior in the underground space and surrounding ground. URL: https://www.researchgate.net/publication/313357463_ANALYSIS_OF_HEAT_AND_MOISTURE_BEHAVIOR_IN_THE_UNDERGROUND_SPACE_AND_ITS_SURROUNDING_GROUND (data zvernennia: 10.07.2024). **4.** Quantification of moisture flux from the wall surface in contact with the ground in a semi-underground space based on measurements and hygro thermal analysis. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223009828> (data zvernennia: 10.07.2024). **5.** A Review on the Impact of Outdoor Environment on Indoor Thermal Environment. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/10/2600> (data zvernennia: 10.07.2024). **6.** The moisture distribution in wall-to-floor thermal bridges and its influence on mould growth. URL: <https://ucl.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14324/111.444/ucloe.000042> (data zvernennia: 10.07.2024). **7.** Building Envelopes: What they are and how they improve the energy efficiency of a structure. URL: <https://thermtest.com/building-envelopes-what-they-are-and-how-they-improve-the-energy-efficiency-of-a-structure> (data zvernennia: 10.07.2024). **8.** Influence of Temperature on the Thermo-Humidity Conditions of Wall Materials. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/influence-of-temperature-on-the-thermo-humidity-conditions-of-wall-materials> (data zvernennia: 10.07.2024). **9.** What Climate Factors are Important Considerations for Building Projects? URL: <https://www.build-review.com/what-climate-factors-are-important-considerations-for-building-projects/> (data zvernennia: 10.07.2024). **10.** Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/moisture-control.pdf> (data zvernennia: 10.07.2024). **11.** Thermal comfort. URL: <https://www.ecophon.com/en/about-ecophon/functional-demands/thermal-comfort/> (data zvernennia: 10.07.2024).

Filonenko O. I., Doctor of Engineering, Professor, Tokar B. S., Senior Student (National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava)

IMPACT OF SOIL CHARACTERISTICS ON THE THERMAL-HYGROMETRIC REGIME OF ADJACENT BUILDING ENVELOPE CONSTRUCTIONS

According to the current requirements for the development of civil protection engineering and technical measures during the reconstruction of buildings, it is necessary to convert basements into dual-purpose rooms. A technical inspection of the basement structures revealed that the vast majority of them were in an unsuitable condition for normal operation.

One of the objects of the inspection was a dual-purpose room – the basement of a university building in Poltava. The inspection revealed soaking of the walls bordering the ground, leaching of mortar between bricks and foundation blocks, and flooding of the basement.

In order to determine the thermal and moisture characteristics of the soil around the foundation zone of a public building with an exploited basement, the coefficient of thermal conductivity of the soil was studied, and its moisture content was determined under operating conditions. The research was carried out in the laboratory at the Structural Physics Laboratory of the National University 'Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic' on the test samples taken during the excavation of the soil around the university's academic building in Poltava.

The thermal conductivity coefficient was measured with the thermal conductivity meter ITS-1. To determine the thermal conductivity of the soil. Five samples were selected. Each sample measured 150×150 mm and was 20–30 mm thick. The value of the thermal conductivity coefficient averaged 1.718 W/m·K.

To study the influence of the characteristics of the soils in the near-foundation zone on the thermal and humidity states of structures bordering the soil, the corresponding unit was modeled using the finite element method. To determine the effect of the thermal conductivity coefficients of the soils in the near-foundation zone on the temperature of the inner surface of the basement wall, a model of a fragment of the corresponding enclosing structure was developed.

During the experiment, the thermal conductivity coefficients for soils of different densities (sand, sandy loam, loam, and clay) were

analyzed. The maximum and minimum values of the thermal conductivity coefficients for these soils were selected. Comparative diagrams were drawn to better understand the temperature and heat flows in the basement wall structure.

Based on the results of the study of the building envelope bordering the ground and the operated premises, it was determined that at all reconstruction sites, it is necessary to restore the external vertical waterproofing layer and perform insulation.

Conclusions: When calculating the thickness of insulation of wall structures bordering the ground, it is necessary to take into account the thermal insulation characteristics of the soil around the foundation zone; the thermal insulation properties of the soil (soil thermal conductivity coefficient of 1.5–2 W/m·K) are insufficient for basement insulation; the type of soil around the foundation zone is non-insulated.

Keywords: thermal conductivity; soil; heat insulation; wall; humidity.