

Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

МАКСИМЕНКО МАРИНА АРКАДІЇВНА

УДК 699.059: 536.212.3

ДИСЕРТАЦІЯ

**ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ З НЕВЕНТИЛЬОВАНИМИ
ПОВІТРЯНИМИ ПРОШАРКАМИ, ЕКРАНОВАНИМИ
ТЕПЛОВІДБИВАЮЧИМ МАТЕРІАЛОМ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____Максименко М. А.

Науковий керівник Швець Віталій Вікторович, кандидат технічних наук,
доцент

Вінниця – 2021

АНОТАЦІЯ

Максименко М. А. Теплоізоляційні вироби з невентильованими повітряними прошарками, екранованими тепловідбиваючим матеріалом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби». – Вінницький національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, Вінниця, 2021.

Проведений огляд досліджень теплозахисних властивостей і методів теплового розрахунку екранної ізоляції. Розглянуто матеріали, що застосовуються в якості екранної ізоляції, і методики експериментального дослідження їх теплозахисних властивостей. Проаналізовано процес теплопередачі через замкнуті екрановані повітряні прошарки.

Загальні питання теплообміну в будівельних конструкціях та процес передачі теплоти через замкнуті повітряні прошарки в будівельних виробках розглянуті в роботах В. Н. Богословського, Б. Ф. Васильєва, А. Е. Власова, В. Л. Іллінського, Ф. В. Ушкова, С. Н. Шоріна, К. Ф. Фокіна, Г. Г. Фаренюка, Т. О. Костюк, М. А. Саницького, О. Б. Олексієнко, Г.С. Ратушняка, Ю. С. Бікса та ін.

К. Ф. Фокін, Б. Ф. Васильєв в своїх роботах розглядають доцільність застосування замкнутих повітряних прошарків в конструкціях будівель з метою зниження кількості теплоти, що передаються шляхом випромінювання.

Дослідженням ефективності застосування замкнутих повітряних прошарків із екранною ізоляцією займалися І. С. Каммерер, Р. С. Михальченко, Д. А. Наринский, Б. І. Шейнин, А. І. Коршаков, П. Н. Умняк, Ф. Ф. Богданов та ін. Багато дослідників підкреслюють високі експлуатаційні властивості екранної ізоляції.

Методам теплового розрахунку екранної теплоізоляції присвячені роботи Р. Ламбертса, С. Гутса, Т. А. Маккарті, М. Д'Ораціо, Е. Ді Джузеппе, В. І. Ковалевського, Г. П. Бойкова, Я. Д. Рудакова, Г. М. Сірих., Г. Г. Фаренюка,

Т. О. Костюк, О. Б. Олексієнко. У роботах І. С. Каммерера, С. Н. Шоріна, М. А. Міхеєва і ін. наводяться формули для коефіцієнтів теплопередачі променистого і конвективного теплообміну в замкнених повітряних прошарках.

В даний час, як показав аналіз літературних джерел, відсутня інженерна методика розрахунку будівельних конструкцій, утеплених із застосуванням екранної теплоізоляції. У нормативній літературі термічний опір замкнених екранованих повітряних прошарків оцінюється дуже наближено.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше:

- встановлено, що теплопровідність повітряного прошарку перед екраном менша у порівнянні з прошарком, який знаходиться після екрану, що підтверджує вплив екранної ізоляції на термічний опір;
- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість використання екранної теплоізоляції між повітряними прошарками в теплоізоляційних дрібно розмірних будівельних виробках з метою підвищення їх термічного опору;

Дістало подальшого розвитку:

- вивчення закономірностей розповсюдження температурних полів у замкнених повітряних прошарках, розділених тепловідбиваючим екраном;
- вивчення роботи тепловідбиваючих екранів при їх розміщенні у виробках із різних матеріалів. Підтверджено, що закономірність розповсюдження теплового потоку не залежить від матеріалу оболонки виробу.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, на основі теоретичного дослідження і отриманих експериментальних даних з термічних опорів замкнених екранованих повітряних прошарків запропоновано теплоізоляційну плитку для утеплення зовнішніх стін.

Впровадження результатів здійснено на підприємстві по виготовленню будівельних матеріалів ФОП «Хмара» та у Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради, відповідно до заходів Стратегії розвитку «Вінниця-2020» – План дій зі сталого енергетичного розвитку.

В основу досліджень поставлено задачу створення теплоізоляційної фасадної панелі, в якій за рахунок використання невентильованих екранованих повітряних прошарків досягається нормативний термічний опір огорожувальних конструкцій при зменшенні їх товщини, підвищується жорсткість і міцність панелей, що приводить до зниження собівартості виробу і трудомісткості монтажу.

У **першому розділі** проведено огляд досліджень теплозахисних властивостей і методів теплового розрахунку екранної ізоляції. Розглянуто матеріали, що застосовуються в якості екранної ізоляції, і методики експериментального дослідження їх теплозахисних властивостей. Проаналізовано процес теплопередачі через замкнуті екрановані повітряні прошарки.

У **другому розділі** наведено теоретичні методи розрахунку теплопровідності в багат шарових будівельних огорожувальних конструкціях, опис лабораторної установки та методику проведення експерименту.

Нормативним документом, що встановлює конструктивні принципи проектування фасадної теплоізоляції будинків та вимоги безпеки, є ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації».

Розроблено експериментальну установку, що дозволить визначати температури на стиках шарів конструкції стіни, яка містить повітряні прошарки, екрановані фольгованим матеріалом.

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень, які передбачали визначення розповсюдження температури в багат шарових виробках з екрануванням повітряних прошарків.

За методом Хрістіансена визначено теплопровідність повітряних прошарків до та після прошарку фольгованого матеріалу. Теплопровідність перших прошарків згідно з результатами менша ніж теплопровідність другого прошарку.

Виконано моделювання дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу

передбачає побудову лінійних моделей його залежності від сукупності вхідних факторів кожного його структурного блоку. Моделювання показало, що всі отримані коефіцієнти детермінації статистично значущі, а отже, отримані рівняння регресії статистично надійні. Це означає, що їх можна використовувати для прогнозу і подальшого аналізу.

У **четвертому розділі** розроблено теплоізоляційну плитку (рис. 13), яка складається з задньої 1, бічної 2 і передньої 3 стінки з екструдованого пінополістиролу або полімерпіщаної суміші. Порожнини 4 заповнені нерухомим повітрям, розділеним на два прошарки тепловідбиваючим екраном 5. З метою виключення містків холоду теплоізоляційну плитку виконано з двох частин, зміщених в горизонтальному напрямку. Термічний опір такої плитки складатиме $R=2 \times 1,83 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ (табл. 5). Фіксацію плиток між собою здійснюють за допомогою входження виступів на верхній грані однієї плитки з западинами на нижній грані іншої. Такий тип стикування плит забезпечує відсутність містків холоду і полегшує їх монтаж.

Поставлена задача вирішується тим, що в фасадній термоізоляційній панелі, що містить передню, задню стінки, бічні грані і замкові елементи у вигляді виступів і заглибин, розташованих зі зміщенням у шаховому порядку, і виконана з можливістю кріплення, передня і задня стінки утворюють каркас з порожниною, заповненою теплоізоляційним матеріалом, яка відрізняється тим, що замкові елементи розміщені на передніх гранях каркаса. Як теплоізоляційний матеріал використовуються екрановані прошарки повітря. При цьому каркас панелі виконаний з полімер-піщаного матеріалу, а для її кріплення використовують клейовий розчин.

Це досягається завдяки виконанню панелі з полімер-піщаного каркасу, в середині якого є екрановані повітряні прошарки, які забезпечують опір теплопередачі та інфрачервоного випромінювання матеріалу.

Високі експлуатаційні властивості відбиваючої ізоляції, як це вказується в багатьох роботах, практично не змінюються в умовах високих і низьких температур, а також в умовах високої вологості і вібрації. Одним з існуючих

недоліків відбиваючої ізоляції є можливість наявності контакту між окремими екранами, який може виникнути при монтажі або деформації. Це, безумовно, призводить до зміни товщини повітряних прошарків і зміни температур на поверхні екранів, що згодом є причиною зниження ефективності роботи ізоляції.

Отримані розраховані за існуючою формулою дані, які показали, що температура на стиках шарів конструкції поширюється лінійно незважаючи на наявність фольгованого екрану всередині повітряних прошарків. Це дозволить виконати порівняння результатів експерименту з результатами теоретичного розрахунку.

Для одержання оптимальних параметрів будівельного теплоізоляційного виробу із екранованими повітряними прошарками виконано принцип оптимізації термічного опору будівельного виробу в залежності товщини повітряного прошарку та матеріалу, що оточує його.

Отримано результати досліджень проходження теплового потоку крізь зразки стінок із гіпсокартону, ДСП, скла та полікарбонату. Виявлено, що в повітряному прошарку, розташованому перед фольгою температура поширюється нелінійно, утворюючи “стрибки”. Тобто повітряний прошарок нагрівається більше порівнянні з теоретично розрахованими даними. Температурні скачки спостерігаються при товщині повітряного прошарку 10 та 15 мм, при збільшенні товщини графік теплового потоку згладжується, що свідчить про менший ефект відбивання і виникнення конвективної теплопередачі в повітряному прошарку.

Ключові слова: теплопровідність, енергоефективність, термічний опір, температура, утеплювальні матеріали, багат шарові будівельні конструкції, будівельні вироби, екранування.

SUMMARY

Maksymenko MA Heat-insulating products with unventilated air layers, shielded by heat-reflecting material. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.23.05 "Building materials and products". - Vinnytsia National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia, 2021.

The review of researches of heat-protective properties and methods of thermal calculation of screen insulation is carried out. The materials used as screen insulation and methods of experimental research of their heat-protective properties are considered. The process of heat transfer through closed shielded air layers is analyzed.

General issues of heat transfer in building structures and the process of heat transfer through closed air layers in building products are considered in the works of VN Bogoslovsky, BF Vasiliev, AE Vlasov, VL Illinsky , FV Ushkov , SN Shorin , KF Fokin, GG Farenjuk , TO Kostyuk, MA Sanitsky , OB Oleksienko, GS Ratushnyak, YS Biksa and others.

KF Fokin, BF Vasiliev in their works consider the feasibility of using closed air layers in the construction of buildings in order to reduce the amount of heat transferred by radiation.

IS Kammerer , RS Mikhalchenko , DA Narinsky , BI Sheinin , AI Korshakov , PN Umnyak , FF studied the effectiveness of the use of closed air layers with screen insulation . Bogdanov and others. Many researchers emphasize the high performance properties of screen insulation.

Methods of calculating thermal insulation screen devoted R. Lamberts S. Goutz , TA McCarthy , M. D'Oratsio , E. Di Giuseppe , B. J. Kovalevsky, GP Boykov, J. D. Rudakov, GM Sirikh ., GG Farenjuk , TO Kostyuk, OB Oleksienko. In the works of J. P. Kammerer , SN Shorin , MA Mikheev and others . are formulas for coefficient of heat transfer of radiant and convective heat transfer in a closed air layers .

Currently, as shown by the analysis of literature sources, there is no engineering method of calculating building structures insulated with the use of screen insulation. In the normative literature, the thermal resistance of closed shielded air layers is estimated very approximately.

Scientific novelty of the obtained results:

For the first time:

- it is established that the thermal conductivity of the air layer in front of the screen is lower compared to the layer located after the screen, which confirms the effect of screen insulation on thermal resistance;
- the possibility of using screen thermal insulation between air layers in heat-insulating small-sized construction products in order to increase their thermal resistance is theoretically substantiated and experimentally confirmed ;

Got further development:

- study of the patterns of distribution of temperature fields in closed air layers, separated by a heat - reflecting screen;
- study of the work of heat-reflecting screens when placing them in products made of different materials. It is confirmed that the regularity of heat flow distribution does not depend on the shell material of the product.

The practical significance of the obtained results is that on the basis of theoretical research and obtained experimental data on the thermal resistance of closed shielded air layers, a thermal insulation tile for insulation of external walls is proposed.

The implementation of the results was carried out at the enterprise for the production of building materials FOP "Cloud" and in the Department of Energy, Transport and Communications of Vinnytsia City Council, in accordance with the Development Strategy "Vinnytsia 2020" - Action Plan for Sustainable Energy Development.

The research is based on the task of creating a heat-insulating facade panel, in which due to the use of unventilated shielded air layers the normative thermal resistance of enclosing structures is achieved by reducing their thickness, increasing

the rigidity and strength of panels, which reduces product cost and installation complexity.

In the first section the review of researches of heat-protective properties and methods of thermal calculation of screen insulation is carried out. The materials used as screen insulation and methods of experimental research of their heat-protective properties are considered. The process of heat transfer through closed shielded air layers is analyzed.

The second section presents theoretical methods for calculating thermal conductivity in multilayer building enclosing structures, a description of the laboratory installation and the method of the experiment.

The normative document that establishes the design principles of the design of facade insulation of buildings and safety requirements is DBN B.2.6-33: 2018 "Structures of buildings and structures. Constructions of external walls with front thermal insulation. Requirements for design, arrangement and operation".

An experimental setup has been developed to determine the temperatures at the joints of the layers of the wall structure, which contains half-layer layers packed with foil material.

The third section presents the results of experimental studies, which involved determining the temperature distribution in multilayer products with shielding of air layers.

The thermal conductivity of air layers before and after the layer of foil material was determined by the Christiansen method. The thermal conductivity of the first layers according to the results is less than the thermal conductivity of the second layer.

The simulation of the study of the passage of heat flow through the foil thermal panels on the basis of the method of correlation-regression analysis involves the construction of linear models of its dependence on the set of input factors of each of its structural units. The simulation showed that all the obtained coefficients of determination are statistically significant, and therefore, the obtained regression equations are statistically reliable. This means that they can be used for forecasting and further analysis.

In the fourth chapter developed heat-isolating in tiles in (Fig. 13), which consists of a back 1 side 2 and 3 of the front wall of the extruded polystyrene or polymer mixture . The cavities 4 are filled with stationary air, divided into two layers by a heat - reflecting screen 5. In order to exclude cold bridges, the thermal insulation tile is made of two parts shifted in the horizontal direction. The thermal resistance of such a tile will be $R = 2 \times 1.83 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$ (Table 5). Fixing of tiles among themselves is carried out by means of occurrence of ledges on the top face of one tile with hollows on the bottom face of another. This type of joining plates ensures the absence of cold bridges and facilitates their installation.

The problem is solved by the fact that in the facade thermal insulation panel containing the front, rear walls, side faces and locking elements in the form of protrusions and recesses arranged in a checkerboard pattern, and made with the possibility of mounting, the front and rear walls form a frame with a cavity , filled with insulating material, characterized in that the locking elements are placed on the front faces of the frame. Shielded layers of air are used as heat-insulating material. The frame of the panel is made of polymer- sand material, and an adhesive solution is used for its fastening.

This is achieved by making a panel of polymer- sand frame, in the middle of which there are shielded air layers, which provide resistance to heat transfer and infrared radiation of the material.

High performance properties of reflective insulation, as indicated in many works, do not change in conditions of high and low temperatures, as well as in conditions of high humidity and vibration. One of the existing disadvantages of reflective insulation is the possibility of contact between individual screens, which may occur during installation or deformation. This, of course, leads to a change in the thickness of the air layers and changes in temperature on the surface of the screens, which subsequently causes a decrease in the effectiveness of the insulation.

The data calculated according to the existing formula were obtained, which showed that the temperature at the joints of the structural layers propagates linearly despite the presence of foil ekrpnu inside the air layers. This will allow you to compare

the results of the experiment with the results of theoretical calculations.

To obtain the optimal parameters of the construction insulation product with shielded air layers, the principle of optimization of the thermal resistance of the construction product depending on the thickness of the air layer and the surrounding material is performed .

The results of researches of heat flow passage through samples of walls from gypsum cardboard, chipboard, glass and polycarbonate are received. It was found that in the air layer located in front of the foil, the temperature propagates nonlinearly , forming "jumps". That is, the air layer heats up more than the theoretically calculated data. Temperature jumps are observed at the thickness of the air layer of 10 and 15 mm, with increasing thickness, the heat flow schedule is smoothed, which indicates a smaller effect of reflection and the occurrence of convective heat transfer in the air layer.

Keywords: thermal conductivity, energy efficiency, thermal resistance, temperature, insulation materials, multilayer building structures, building products, shielding.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України та у виданнях, що цитуються Index Copernicus:

1. Іскра М. А., Швець В. В. Теплоізоляційна плитка для фасадів будівель, що працює за принципом термоса. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця 2010, № 2, с. 62-64.
2. Максименко М. А., Швець В. В. Аналіз існуючих способів захисту будівель від тепловтрат. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця 2014, № 2, с. 41-47.
3. Maksymenko M., Ryndiuk S., Shvets V. Investigation of thermal conductivity of multilayer building materials at products. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 2018, Vol. 7, no 2, p.9.
4. Максименко М. А., Риндюк С. В. Методологія дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, Вінниця 2018, № 2, с. 201-205.
5. Максименко М. А., Риндюк С. В., Швець В.В. Дослідження теплозахисних властивостей замкнутих повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції. *International Scientific and Practical Conference World science*, 2018, № 25, с. 37-40.
6. Максименко М. А., Швець В. В., Козак В. Ю. Моделювання проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця, 2019, № 1, с. 72-77.

Праці апробаційного характеру:

7. Максименко М. А., Швець В. В. Використання тепловідбиваючих матеріалів для утеплення стін будівель. *XLIV регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області*. (Вінниця, 12-13 березня 2015 р.), Вінниця, 2015, с. 2.

Електронний ресурс. Доступно:

<http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inbtegp/mba.php>.

8. Максименко М. А, Швець В. В. Аналіз основних факторів, що впливають на теплову спроможність огороджуваних конструкцій. *Енергоефективність в галузях економіки України-2017*. Міжнародна науково-технічна конференція (Вінниця, 11 листопада 2017), Вінниця, 2017. Електронний ресурс. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3416/2862>
9. Максименко М. А. Теплозахисні властивості замкнених повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції. *Енергоефективність в галузях економіки України-2017*. Міжнародна науково-технічна конференція (Вінниця, 11 листопада 2017), Вінниця, 2017. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3415/2861>.
10. Максименко М. А. Роль відбиваючого екрану в термозахисних конструкціях. *XLVII Науково-технічна конференція факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання* (Вінниця, 12-14 березня 2018 р.) Вінниця, 2018, с. 2. Електронний ресурс. Доступно: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/21003/4347.pdf?sequence=3>.

Патенти:

11. Теплоізоляційна енерговідбиваюча панель. Пат. 142166 Україна: МПК Е 04 F 13/00, № 201908041, заяв. 12.07.2019, опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ВІД ТЕПЛОВТРАТ	22
1.1 Фізичні основи теплопередачі в матеріалах	25
1.2 Сучасні теплоізоляційні фольговані матеріали та методи утеплення будівель і споруд	34
1.2.1 Конструкції зовнішніх енергоефективних стін будівель і споруд	34
1.2.2 Рулонні фольговані матеріали	36
1.2.3 Методи утеплення будівель і споруд енерговідбиваючими, теплоізоляційними матеріалами	38
1.3 Робоча гіпотеза досліджень	41
1.4 Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ ЗОВНІШНІХ СТІН БУДІВЕЛЬ	43
2.1 Методологія дослідження теплопровідності багатошарових будівельних виробів	43
2.2 Аналіз та вибір методики та обладнання для проведення дослідження теплопровідності	47
2.2.1 Характеристика матеріалів та обладнання, конструювання лабораторної установки	49
2.2.2 Проведення експерименту	58
2.2.3 Оцінка результатів експерименту	59
2.3 Визначення розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки за існуючими формулами	60
2.4 Математичне моделювання, оптимізація параметрів виробу	67
2.5 Висновки до розділу	71
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ КРІЗЬ БАГАТОШАРОВУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНУ ПЛИТКУ З	72

ЕКРАНОВАНИМИ НЕВЕНТИЛЬОВАНИМИ ПРОШАРКАМИ ПОВІТРЯ

3.1	Проведення експерименту з конструкцією стіни із гіпсокартону	72
3.2	Розрахунок конвективної і випромінювальної складової теплопередачі через замкнуті повітряні прошарки з використанням експериментальних даних	74
3.3	Обробка результатів експерименту проходження теплового потоку крізь багатошарову теплоізоляційну плитку	77
3.4	Конструювання дослідного зразка теплоізоляційного виробу з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом	80
3.5	Тепловізійні дослідження полімерпіщаних плит із двома замкнутими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом	84
3.6	Визначення фізико-механічних характеристик дослідних зразків теплоізоляційного виробу	87
3.7	Результати випробувань зразків теплоізоляційного виробу та значення цих показників за нормативними вимогам	94
3.8	Моделювання проходження теплового потоку крізь теплоізоляційний виріб	95
3.9	Висновки до розділу	105

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ЕКРАННОЇ ІЗОЛЯЦІЇ В ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЯХ ТА ЇЇ ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

4.1	Розробка теплоізоляційної плитки з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом	107
4.2	Результати впровадження	108
4.3	Виробництво полімерпіщаних термопанелей	110
4.4	Послідовність виконання робіт по монтажу теплоізоляційних плит	114

4.5	Аналіз техніко-економічних чинників утеплення зовнішніх огорожень	120
4.6	Висновки до розділу	123
	Загальні висновки	124
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	126
	Додаток А Список опублікованих праць за темою дисертації	137
	Додаток Б Акти впровадження дисертаційної роботи	139
	Додаток В Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з гіпсокартону з повітряними прошарками	141
	Додаток Г Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з ДСП з повітряними прошарками	143
	Додаток Д Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з скла з повітряними прошарками	145
	Додаток Е Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з полікарбонату з повітряними прошарками	147
	Додаток Є Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з пінополістиролу з повітряними прошарками	149
	Додаток Ж Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з полімерпіщаної плити з повітряними прошарками	151
	Додаток З Протокол № 13к/21 кваліфікаційних випробувань з визначення теплопровідності в сухому стані теплоізоляційного виробу	153
	Додаток К Висновок за результатами випробувань з визначення теплопровідності в сухому стані теплоізоляційного виробу	158

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Проблема підвищення теплової ефективності будівель і економії паливно-енергетичних ресурсів в цивільних будівлях є актуальною, але складною як в нашій країні, так і за кордоном.

В Україні близько 40 % палива, що видобувається, витрачається на теплопостачання будівель, при цьому збільшується собівартість видобування і транспортування традиційного природного палива (вугілля, нафти, газу), запаси якого поступово виснажуються у всьому світі.

Енергозбереження в будівлях при вирішенні практичних завдань скорочення загальної витрати непоновлюваних енергоресурсів (вугілля, газу, нафти і ін.) реалізується шляхом застосування ефективних теплоізоляційних матеріалів для зовнішніх стін, істотного збільшення теплозахисту експлуатованого фонду, тощо.

Скорочення до мінімуму витрат на обігрів будівель і створення комфортних умов для життя людей залежить від застосування при ремонті, реконструкції і новому будівництві сучасних ефективних теплоізоляційних матеріалів для утеплення конструкцій і облаштування будівель.

Досягти необхідного значення опору теплопередачі зовнішніх стін можливо при використанні багат шарових будівельних конструкцій з використанням ефективних теплоізоляційних матеріалів, які повинні володіти високими теплозахисними властивостями, економічністю, технологічністю та можуть використовуватись при високих і низьких температурах. До таких теплоізоляційних матеріалів можна віднести матеріали з високою відбивною здатністю. Перевага екранної ізоляції полягає в можливості ефективного використання повітря, як природного утеплювача. У стінових конструкціях, як правило, цей вид теплової ізоляції доцільно використовувати у вигляді пакету, який є сукупністю матеріалів з малою поглинальною і великою відбивною здатністю поверхонь спільно з невентильованими повітряними прошарками між ними.

На вітчизняному ринку є велика кількість подібних теплоізоляційних матеріалів. В першу чергу до них можна віднести матеріали зі спіненого поліетилену покритого екранною ізоляцією з алюмінієвої фольги. Через те, що такі матеріали в галузі будівництва почали використовуватися відносно недавно, то цілком закономірним є відсутність об'єктивної інформації про їх теплозахисні властивості. Наявна інформація, яку, як правило, надають виробники даної продукції, носить досить суперечливий характер. З огляду на можливість використання подібної теплоізоляції в сукупності з невентильованими повітряними прошарками, в даний час виникає необхідність визначення термічного опору будівельних огорожувальних конструкцій із застосуванням екранної теплової ізоляції.

Загальні питання теплообміну в будівельних конструкціях та процес передачі теплоти через замкнуті повітряні прошарки в будівельних виробках розглянуті в роботах В. Н. Богословського, Б. Ф. Васильєва, А. Е. Власова, В. Л. Іллінського, Ф. В. Ушкова, С. Н. Шоріна, К. Ф. Фокіна, Г. Г. Фаренюка, Т. О. Костюк, М. А. Саницького, О. Б. Олексієнко, Г.С. Ратушняка, Ю. С. Бікса та ін.

К. Ф. Фокін, Б. Ф. Васильєв в своїх роботах розглядають доцільність застосування замкнутих повітряних прошарків в конструкціях будівель з метою зниження кількості теплоти, що передаються шляхом випромінювання.

Дослідженням ефективності застосування замкнутих повітряних прошарків із екранною ізоляцією займалися І. С. Каммерер, Р. С. Михальченко, Д. А. Наринский, Б. І. Шейнин, А. І. Коршаков, П. Н. Умняк, Ф. Ф. Богданов та ін. Багато дослідників підкреслюють високі експлуатаційні властивості екранної ізоляції.

Методам теплового розрахунку екранної теплоізоляції присвячені роботи Р. Ламбертса, С. Гутса, Т. А. Маккарті, М. Д'Ораціо, Е. Ді Джузеппе, В. І. Ковалевського, Г. П. Бойкова, Я. Д. Рудакова, Г. М. Сірих., Г. Г. Фаренюка, Т. О. Костюк, О. Б. Олексієнко. У роботах І. С. Каммерера, С. Н. Шоріна, М. А. Міхєєва і ін. наводяться формули для коефіцієнтів теплопередачі променистого і конвективного теплообміну в замкнутих повітряних прошарках.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Закону України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 №74/94–ВР, а також в рамках проекту «Енергоефективність у житловому секторі України», виконувалась на підставі Галузевої програми «Підвищення енергоефективності у будівельній галузі на 2010-2014 роки», затвердженої наказом Мінрегіонбуду від 30.06.09 № 257, згідно з Програмою Уряду у сфері енергоефективності та енергозбереження.

Мета і завдання дослідження. Розробка теплоізоляційного виробу з невентильованими повітряними прошарками, екранованими тепловідбиваючим матеріалом для збільшення термічного опору багат шарових огорожувальних конструкцій.

Задачі дослідження:

- провести аналіз використання тепловідбиваючої ізоляції огорожувальних конструкцій при будівництві та реконструкції будівель та споруд;
- дослідити теплоізоляційні властивості будівельного теплоізоляційного виробу в залежності від матеріалу її каркасу та товщини повітряного прошарку;
- на основі математичного моделювання та оптимізації термічного опору законструювати теплоізоляційну плитку із застосуванням екранної теплоізоляції з невентильованими повітряними прошарками;
- конструювання дослідної моделі теплоізоляційного виробу із застосуванням екранної теплоізоляції з невентильованими повітряними прошарками для проведення лабораторних досліджень;
- оцінка економічної ефективності теплозахисту зовнішньої стіни із застосуванням запропонованого виробу.

Об'єкт дослідження: процеси теплопровідності у багат шарових стінових теплоізоляційних виробках.

Предмет дослідження: теплоізоляційні вироби з невентильованими повітряними прошарками, екранованими тепловідбиваючим матеріалом.

Методи дослідження: аналітичні та експериментальні методи визначення

теплопровідності будівельних матеріалів та виробів; математичного моделювання залежності термічного опору будівельного виробу в залежності від теплопровідності і товщини екранованих повітряних прошарків; фізичного моделювання теплопровідності через багатошарові будівельні вироби та аналізу експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше:

- встановлено, що теплопровідність повітряного прошарку перед екраном менша у порівнянні з прошарком, який знаходиться після екрану, що підтверджує вплив екранної ізоляції на термічний опір;
- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість використання екранної теплоізоляції між повітряними прошарками в теплоізоляційних дрібно розмірних будівельних виробах з метою підвищення їх термічного опору;

Дістало подальшого розвитку:

- вивчення закономірностей розповсюдження температурних полів у замкнених повітряних прошарках, розділених тепловідбиваючим екраном;
- вивчення роботи тепловідбиваючих екранів при їх розміщенні у виробах із різних матеріалів. Підтверджено, що закономірність розповсюдження теплового потоку не залежить від матеріалу оболонки виробу.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, на основі теоретичного дослідження і отриманих експериментальних даних з термічних опорів замкнутих екранованих повітряних прошарків запропоновано теплоізоляційну плитку для утеплення зовнішніх стін.

Впровадження результатів здійснено на підприємстві по виготовленню будівельних матеріалів ФОП «Хмара» та у Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради, відповідно до заходів Стратегії розвитку «Вінниця-2020» – План дій зі сталого енергетичного розвитку.

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, авторові належать

наступні наукові результати: [1], [11] – розроблено теплоізоляційну фасадну плитку; [2], [7], [8] – проведено аналіз існуючих способів захисту будівель від тепловтрат, та факторів які впливають на термічну стійкість оздоблювальних матеріалів; [3], [10] – дослідження теплопровідності багат шарових будівельних матеріалів та виробів; [4] – розробка методології проведення експерименту для дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані теплоізоляційні плитки; [5], [9] – дослідження теплозахисних властивостей замкнених повітряних прошарків екранованих фольгованими матеріалами; [6] – математичне моделювання проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу; [8] – проведено аналіз факторів які впливають на термічну стійкість оздоблювальних матеріалів.

Апробація матеріалів дисертації проводилась на Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, (12-14 березня 2018, Вінниця); Енергоефективність в галузях економіки України-2017, (11 листопада, Вінниця, 2017); XLIV регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, (12-13 березня 2015, Вінниця).

Публікації. Основний зміст дисертації викладено у 10 наукових працях, 4 статті у вітчизняних та 2 у закордонних фахових виданнях, що цитуються Index Copernicus, 4 тези конференцій, 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та загальних висновків, списку використаних джерел із 120 найменувань і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 167 сторінок, з яких 110 сторінок основного тексту, містить 35 рисунків, 28 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ

БУДІВЕЛЬ ВІД ТЕПЛОВТРАТ

В Україні експлуатується понад 10,4 млрд. м² житла [12], основна частина якого побудована у 50-70 роки ХХ сторіччя. Технічний стан більшості житлових будинків – незадовільний, морально і фізично зношеними є 30 – 50 % житлового фонду. В структурі існуючого житлового фонду загальна кількість об'єктів, побудованих індустріальними методами в 60-і роки минулого століття за проектами перших масових серій, перевищує 25 тисяч. Загальна їх площа становить майже 72 млн. м², з них 47 % складають будівлі панельного типу, 50 % – будівлі з цегляними стінами, 3 % – будинки зведені з використанням збірних крупноблочних елементів. Проблемні питання їх подальшої експлуатації з роками загострюються, як через втрати експлуатаційної надійності окремих несучих елементів будівель, так і через високі показники експлуатаційних енерговитрат [12], [13].

Загальні теплові втрати будинку складаються з теплових втрат окремих його конструкцій: стіни (40-65 %), вікна та двері (15-35 %), стелі, підлога, перекриття (по 8-12 %), вентиляційні (22-35 %) та інші втрати (8-21 %). Найбільшу площу мають стіни, тому їх теплозахисні властивості грають домінуючу роль в тепловому захисті будівлі. Залежно від конструкції стіни передають в атмосферу до 35-45% (панельні будинки перших масових серій до 65%) теплоти. Віконні отвори в загальній площі зовнішніх огорож складають значно менший відсоток в порівнянні із стінами. Вікна з подвійним склінням мають опір теплопередачі в 2-3 рази нижчий, ніж стіни. Тому через вікна може втрачатися до 30% тепла. Порівняно невеликі витрати на підвищення теплозахисних якостей вікон швидко окупаються за рахунок зниження витрат на опалювання і дозволяють створити в приміщеннях будинку сприятливіший мікроклімат.

Відбивача ізоляція (панелі, плівки, покриття) присутні на ринку

теплоізоляції роками, вона нормована і має просту і зрозумілу природу. Існує кілька способів передачі тепла: теплопровідність (кондукція) – властивість твердих тіл проводити тепло за допомогою атомів; конвекція – поширення тепла в газоподібному середовищі завдяки відмінності щільності холодного і теплого повітря; теплове випромінювання – поширення в просторі внутрішньої енергії випромінюючих тіл шляхом електромагнітних хвиль. Найбільш поширеним в природі видом електромагнітного випромінювання є теплове (інфрачервоне) випромінювання. Всі тіла, що мають кімнатну температуру, випромінюють інфрачервоні хвилі з довжинами, близькими до 16 мкм.

У приміщенні всі тіла генерують хвилі, обмінюючись ними з іншими тілами. Теплове випромінювання може поглинатися або проходити крізь тіло, а також може відбиватися від тіла.

Для отримання максимального ефекту від утеплення будівель необхідно звести до мінімуму всі три види втрат тепла: теплопровідність, конвекцією і тепловим випромінюванням.

Існує два класи теплоізоляційних матеріалів: традиційна (масивна) та тонкошарова відбиваюча теплоізоляція. Теплоізоляційні матеріали цих різних класів не зовсім коректно порівнювати один з одним, оскільки теплоперенос в них відбувається по-різному. Серед традиційних масивних утеплювачів найбільш поширені пінопласт, пінополістирол і мінеральна вата. Ці матеріали знижують втрати від теплопровідності і конвекції. Найнижчий в природі коефіцієнт теплопровідності в повітря 0,022 Вт/м²·К. На високих теплоізоляційних властивостях повітря ґрунтується робота масивних утеплювачів. Вони мають шарувату або пористу структуру, вміст повітря в якій досить великий, а його переміщення утруднено. Здебільшого, традиційна ізоляція не має відбиваючого екрана і не забезпечує захист будівлі від тепловтрат, обумовлених тепловим випромінюванням. Масивні утеплювачі мають пряму залежність від товщини їх шару. Чим більша товщина традиційного утеплювача, тим більший його опір, хоча не варто забувати, що незалежно від величини R (опір теплопередачі) матеріали не зупиняють, а лише уповільнюють

рух тепла, поглинають його і при "насиченні" віддають енергію зовні.

Останнім часом виробники традиційної теплоізоляції почали виводити на ринок продукти, доповнені відображаючим екраном за принципом рулонної фольгової теплоізоляції. Це підтверджує розуміння необхідності в додатковій затримці теплових випромінювань зовні.

Полірований алюміній – ефективний відбивач теплового випромінювання, його спектральна ступінь чорноти складає $\mu = 0,05$. Цей показник говорить про те, що алюміній відображає 95% теплового потоку, що падає на нього. Однак рулонні фольговані утеплювачі повинні працювати при наявності повітряного прошарку від 1 до 2 см. Для найбільшого ефекту його слід встановлювати на стіну фольгованим покриттям всередину приміщення. Для досягнення максимального енергозберігаючого ефекту необхідно відбити теплові промені до стіни всередину приміщення. Якщо встановити утеплювач з відбиваючим екраном з зовнішньої боку, то хвилі будуть відображатися назад в стіну і коли кількість поглиненого тепла досягне межі його "місткості", матеріал почне інтенсивно виділяти теплоту, або з технічної точки зору "випромінювати" тепло.

Відбиваюча теплоізоляція застосовується вже десятки років. Високі властивості, доповнені широким асортиментом видів, дозволяють застосувати її практично скрізь, в тому числі для багатоповерхового будівництва. У будівлях ізолюють всі зовнішні стіни, покрівлю, перекриття над холодними підвалами. Також використовують відбиваючу теплоізоляцію при монтажі теплої підлоги, лазень і саун; для медичних і дитячих установ; в складах і ангарах, причому як опалювальних, так і холодних павільйонах; холодильних камерах і ін. Відбиваюча ізоляція також встановлюється в якості екрану батареї опалення.

1.1 Фізичні основи теплопередачі в матеріалах

Теоретичні основи теплофізики в значній мірі базуються на теорії теплообміну, що вивчає закономірності перенесення теплоти з одних областей простору в інші. Основні процеси теплообміну (теплопровідність, конвекція,

випромінювання, теплообмін із внутрішніми джерелами теплоти) мають однакові математичні моделі, що дозволяє вивчити закони переносу теплоти стосовно будівельних матеріалів і огорожувальних конструкцій будинків.

Основні питання теорії теплопровідності висвітлені в роботах [14]-[27]. У роботах Г. Карслоу, А. В. Ликова, А. С. Лялікова, А. І. Леонтьєва, Э. Р. Эккерт, Р. М. Дрейка, Е. А. Волкова, В. П. Исаченка, М. А. Міхеєва, [25]-[26] розглянуті різні методи вирішення задач теплопровідності.

Перенесення теплоти згідно [25]-[26] через повітряний прошарок від однієї поверхні до іншої під дією різниці температур здійснюється шляхом теплопровідності, конвекції і випромінювання. З огляду на те, що закономірності променистого теплообміну, теплопровідності і конвекції сильно розрізняються, то рішення задач істотно ускладнюється навіть в разі, коли всі три процеси протікають незалежно один від одного.

Дослідженню процесу теплопередачі через повітряні прошарки і визначенню їх оптимальної товщини присвячено багато робіт як вітчизняних Г. Г. Фаренюк, та Е. Г. Фаренюк [29], так і зарубіжних вчених [33]-[44].

У разі теплообміну шляхом випромінювання, коли дві площини розташовані паралельно одна одній на невеликій відстані, кількість тепла, що проходить між ними, визначається за формулою [22]:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F, \quad (1.1)$$

де C_1 і C_2 – коефіцієнти випромінювання поверхонь;

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

T_1 і T_2 – температури випромінюючих поверхонь;

F – поверхня теплообміну.

В роботі В. А. Пашинського, та О. А. Плотнікова [32] розглядається доцільність застосування повітряних прошарків в огорожуючих конструкціях будівлі. Для опису процесу теплопередачі через замкнуті повітряні прошарки в

конструкціях також використовується поняття еквівалентного коефіцієнта теплопровідності:

$$\lambda_e = \lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_l \delta, \quad (1.2)$$

де λ_1 – теплопровідність повітря;

λ_2 – умовний коефіцієнт теплопередачі за рахунок конвекції;

δ – товщина повітряного прошарку;

α_l – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \frac{\left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{t_1 - t_2}, \quad (1.3)$$

де C_1 і C_2 – коефіцієнти випромінювання поверхонь;

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

T_1 і T_2 – температури випромінюючих поверхонь;

t_1 , t_2 – температури поверхонь випромінювання.

Фокін К. Ф. [48] приводить значення величини коефіцієнтів $\lambda_1 + \lambda_2$ для вертикальних повітряних прошарків. Також в роботі зазначається, що повітряні прошарки товщиною більше 5 см застосовувати недоцільно. Такі прошарки краще розділяти проміжними прошарками на менші.

З метою зменшення теплового випромінювання рекомендовано поверхню навпроти напрямку теплового потоку покривати матеріалами з високою відбивною і малою поглинальною здатністю.

В даному випадку тепловий потік при сумарному теплообміні можна розраховувати за такою формулою [24]:

$$q = \varepsilon_{np} C_0 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{i+1}}{100} \right)^4 \right] + \frac{\lambda_{nos} \varepsilon_k}{\delta_{nos}} [T_i - T_{i+1}] \quad (1.4)$$

де $\delta_{пов}$ – товщина повітряного прошарку;

$\lambda_{пов}$ – молекулярна теплопровідність повітря;

ε_k – коефіцієнт, що враховує конвекцію.

Внаслідок екранування поверхонь фольгованими покриттями, на них спостерігається значний перепад температур, тобто слід враховувати зміни ступеня чорноти екранів і молекулярної теплопровідності повітря в залежності від температури. Тоді рівняння (1.4) прийме наступний вигляд:

$$q = \varepsilon_{np}(T) C_0 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{i+1}}{100} \right)^4 \right] + \frac{\lambda_{nos}(T) \varepsilon_k}{\delta_{nos}} [T_i - T_{i+1}] \quad (1.5)$$

У випадках екранування прошарку, коли потрібно враховувати теплоємність екранів, тепловий потік визначається за такою формулою [24]:

$$q = c_i \delta_i \rho_i \frac{dT_i}{d\tau} + \varepsilon_{np} C_0 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{i+1}}{100} \right)^4 \right] + \frac{\lambda_{nos} \varepsilon_k}{\delta_{nos}} [T_i - T_{i+1}] \quad (1.6)$$

де c_i – питома теплоємність матеріалу екрану;

δ_i – товщина екрана;

ρ_i – щільність матеріалу, з якого виготовлений екран;

τ – час нагрівання.

При наявності системи екранів, для випромінювальної складової процесу теплопереносу для визначення теплового потоку наводиться така залежність [22]:

$$q_{(1.2)ne} = \varepsilon'_{np} C_0 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{i+1}}{100} \right)^4 \right], \quad (1.5)$$

де

$$\frac{1}{\varepsilon'_{np}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\varepsilon'_{ei}} + \frac{1}{\varepsilon''_{ei}} - 1 \right),$$

При наявності системи екранів сумарна кількість тепла, що пройде через неї, і температура будь-якого i -го екрану авторами роботи [22] запропоновано визначати за наступними формулами:

$$Q_{\Sigma} = \frac{F_m(t_0 - t_m)}{\sum_{i=0}^z \frac{1}{\alpha} \varphi_{(i+1)m}} \quad (1.6)$$

$$t_i = \frac{t_0 \left(\frac{1}{\alpha_{\Sigma i}} \varphi_{(i+1)m} + \dots + \frac{1}{\alpha_{\Sigma z}} \varphi_{(i+1)m} \right) + t_m \left(\frac{1}{\alpha_{\Sigma 0}} \varphi_{(i+1)m} + \dots + \frac{1}{\alpha_{\Sigma i-1}} \varphi_{(i+1)m} \right)}{\sum_{i=0}^z \frac{1}{\alpha} \varphi_{(i+1)m}}$$

де F_0 і F_m – площі поверхонь джерела тепла;

t_0 і t_m – температури поверхонь джерела тепла;

$\frac{1}{\alpha_{\Sigma i}}$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі, який визначається як сума

тепловіддачі $\alpha_{лі}$ і теплопровідності $\alpha_{сі}$;

Z – кількість екранів;

$\varphi_{(i+1)m}$ – коефіцієнт опромінення, що дорівнює $\frac{F_m}{F_{i+1}}$.

В даному випадку передача тепла здійснювалася шляхом теплопровідності і конвекції (λ_k), випромінюванням (λ_l), а через матеріал екранів і дистанційних прокладок – шляхом теплопровідності матеріалу (λ_m). Величина теплопровідності матеріалу λ_m визначалася експериментальним шляхом. При відомій потужності нагрівача і температурному перепаді в шарі визначалася ефективна теплопровідність [22]:

$$\lambda_{екв} = \lambda_k + (\lambda_l + \lambda_m). \quad (1.7)$$

Сумарне значення величин $\lambda_{\text{л}}$ і $\lambda_{\text{м}}$ визначалося в ході експерименту для кожного зразка при робочій різниці температур Δt і атмосферному тиску у випадку, коли $\lambda_{\text{л}} = \lambda_{\text{г}}$, де $\lambda_{\text{г}}$ – коефіцієнт теплопровідності газу.

В літературі В. М. Фокіна [48] при вільній конвекції пропонується коефіцієнт теплообміну зменшувати вдвічі, тому що при передачі теплоти за допомогою конвекції від однієї поверхні невентильованого повітряного прошарку до іншого відбувається подолання опору двох граничних шарів повітря, які прилягають до цих поверхонь. Тоді тепловий потік, що проходить через прошарок можна виразити таким чином:

$$Q = 0,5 \alpha_{\text{к}} + \frac{\lambda_{\text{л}}}{\delta} + \alpha_{\text{л}}, \quad (1.8)$$

де $\alpha_{\text{к}}$ – коефіцієнт конвективного теплообміну;

δ – товщина прошарку;

λ – коефіцієнт теплопровідності повітря;

$\lambda_{\text{л}}$ – коефіцієнт променистого теплообміну.

Результати експериментальних досліджень представлені у вигляді залежності коефіцієнта конвекції $\varepsilon_{\text{к}}$ від $\text{Gr} \cdot \text{Pr}$ для вертикальних і горизонтальних газових прошарків.

В роботі [26] розглядається процес передачі теплоти через невентильовані повітряні прошарки, де також враховується вплив конвекції в обмеженому просторі.

Для спрощення розрахунків складний процес теплообміну розглядається як елементарне явище теплопровідності. При цьому вводиться поняття еквівалентного коефіцієнта теплопровідності, яке визначається [26]:

$$\lambda_{\text{ек}} = \frac{Q\delta}{F\Delta t}, \quad (1.9)$$

Коефіцієнт конвекції $\varepsilon_{\text{к}}$ дорівнює відношенню еквівалентного коефіцієнта

теплопровідності $\lambda_{\text{ек}}$ до коефіцієнта теплопровідності середовища λ . Оскільки циркуляція обумовлена різницею щільності холодних і нагрітих частинок і залежить від Gr і Pr , то величина $\varepsilon_{\text{к}}$ також є функцією того ж аргументу, тобто:

$$\varepsilon_{\text{к}} = f(Gr \cdot Pr), \quad (1.10)$$

При визначенні чисельних значень Gr і Pr як визначального розміру приймається товщина повітряного прошарку δ , а визначальна температура середовища визначалася як середня температура:

$$t_{\text{cp}} = 0.5(t_1 + t_2),$$

де t_1 і t_2 – температури нагрітої і холодної стінок.

При $Gr \cdot Pr$ менше 1000 значення величини $\varepsilon_{\text{к}} = 1$. В цьому випадку теплоперенос через повітряний прошарок здійснюється тільки шляхом теплопровідності обмеженої середовищем і випромінюванням.

При значеннях $10^3 < GrPr < 10^6$ [26]:

$$\varepsilon_{\text{к}} = 0,105(Gr \cdot Pr)^{0.3}, \quad (1.11)$$

Для наближених розрахунків $\varepsilon_{\text{к}}$ при $GrPr > 10^3$ замість формули М. А. Міхеєв рекомендує на підставі експериментальних даних використовувати наступну залежність [25]:

$$\varepsilon_{\text{к}} = 0,18(Gr \cdot Pr)^{0.25}, \quad (1.12)$$

яку можна привести до виду:

$$\varepsilon_{\text{к}} = A(\delta \cdot \Delta t)^{0.25},$$

$$A = \frac{0.18(\beta \cdot g \cdot Pr)^{0.25}}{\nu^{0.5}},$$

де β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення;

g – прискорення вільного падіння;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості.

Богословський В. Н. в роботі [46] зазначає, що збільшення конвективної складової в процесі теплопередачі через невентильовані повітряні прошарки залежить в основному від їх товщини.

У роботі [47] вказується необхідність екранування повітряного прошарку, тобто покриття хоча б однієї з її поверхонь матеріалом з високою відбивною здатністю або установленням всередині прошарку фольгованої площини. Це пояснюється тим, що в невентильованих повітряних прошарках складова випромінювального теплообміну переважає над конвективним.

В. М. Ільїнський в роботі [57] зазначає, що використання фольгованих покриттів як екранування повітряних прошарків, доцільно лише у сухих приміщеннях або в сукупності з матеріалами з низькою вологістю і паропроникністю. Автор не рекомендує використовувати алюмінієву фольгу для екранування повітряних прошарків в конструкціях з каменю і бетону, що мають велику початкову вологість.

У роботі [58] навпаки, підкреслюють високі експлуатаційні властивості відбиваючої ізоляції при використанні її в будівельних конструкціях. Автор виділяє сталість відбивної здатності алюмінієвої фольги і термічного опору екранованого повітряного прошарку навіть при несприятливих умовах.

В роботі [59] вказано, що системи з невентильованими повітряними прошарками рекомендується використовувати в умовах середніх температур. У статті вказується складність при визначенні температурних полів та складність практичного застосування екранної ізоляції. Разом з тим слід уникати виникнення контактної теплопровідності в системі екранів внаслідок зіткнення її окремих шарів, що призводить до збільшення теплового потоку.

При виконанні теплотехнічних розрахунків, пов'язаних з визначенням термічного опору огорожувальних конструкцій, зазвичай вирішується завдання, в якому потрібно знайти товщину шару утеплювача при відомих товщинах інших матеріалів, з яких складається конструкція.

Розрахункові залежності, наведені в офіційних ДБНах, отримані для стаціонарного режиму роботи огорожувальних багатошарових конструкцій, не дозволяють проаналізувати динаміку процесу теплопереносу складових стін при мінливій в часі температурі зовнішнього повітря [34].

У багатьох випадках елементи конструкції є багатошаровими. Кожному елементу, що входить в систему, притаманні свої теплофізичні, механічні та інші властивості, які найбільш повно узгоджуються з призначенням шарів.

Якщо на межі розділу матеріалів має місце рівність температур теплових потоків, це свідчить про наявність ідеального термічного контакту. Якщо ж через мікронерівності дійсна площа зіткнення значно менша геометричної, то в місці з'єднання тіл виникає тепловий опір поверхонь, що контактують. При цьому температура в місцях з'єднання конструкцій не буде однаковою.

У статті [16] показано застосування методу Карлслюу щодо розрахунку теплообміну тіл, які контактують. Автор вважає, що температура середовища, яке нагрівається і теплофізичні властивості різнорідних матеріалів постійні. При цьому початкова температура тіл вважається рівною нулю.

Застосування варіаційних методів щодо розрахунку переносу тепла в багатошарових конструкціях показано в статті [49]. Одним із наближених розв'язків є заміна одношарової конструкції, розрахунок якої добре вивчений, на багатошарову. Особливу роль тут відіграє правильний вибір еквівалентних теплофізичних параметрів: теплоємності, коефіцієнтів теплопровідності та температуропровідності .

Теоретичні методи дають можливість досліджувати обмежене коло питань. Отримані на їх основі точні співвідношення виражаються функціональними залежностями, які важко використовувати в розрахунковій практиці .

Точні і наближені аналітичні розв'язки лінійних і нелінійних задач тепломасопереносу для одно- та багатошарових конструкцій запропоновані в роботах [45]. Розв'язок задач теплопровідності досягається використанням тієї ж розрахункової схеми для розрахунку задач, точний розв'язок яких заздалегідь відомий.

У посібнику [46] розглянуто метод розділення змінних для вирішення стаціонарних одновимірних задач теплопровідності для необмеженої пластини при граничних умовах першого і третього роду, для нескінченного циліндра і кулі при граничних умовах третього роду.

На сьогодні базою математичного моделювання для вивчення процесів тепломасопереносу як в теоретичних, так і практичних дослідженнях [45] є теорія, заснована на законі Фур'є для розповсюдження тепла. Ряд авторів запропонували кращі моделі процесів зі скінченною швидкістю розповсюдження температури (врахування явища релаксації, біпараболічні моделі) [45, 54]. Інженерні розрахунки температурних полів згідно покращених математичних моделей теплопровідності навіть у найпростіших випадках є набагато громіздкішими порівняно з відповідними розрахунками в рамках класичної моделі Фур'є.

Проблемам моделювання процесів в середовищах з неоднорідними умовами спряження неідеального контакту (задачі з розривними розв'язками) присвячена монографія [61].

1.2 Сучасні теплоізоляційні фольговані матеріали та методи утеплення ними будівель і споруд

1.2.1 Конструкції зовнішніх енергоефективних стін будівель і споруд

У сучасному будівництві існує багато видів теплової ізоляції огорожувальних конструкцій: сендвіч-панелі, вентильовані фасади, утеплення колодязного типу і шаром утеплювача, внутрішнє утеплення, тощо. Однак проектування будь-якої системи утеплення потрібно вести відповідно до нормативних вимог.

Проектування системи теплоізоляції слід вести з урахуванням вказівок наступної нормативної документації:

- ДСТУ Б ГОСТ 16381:2011 Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Класифікація і загальні технічні вимоги (ГОСТ 16381-77, IDT) [70];
- ДСТУ Б В.2.6-34 «Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Класифікація й загальні технічні вимоги» [71];
- ДСТУ Б В.2.6-36 «Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови» [72];
- ДБН В.2.2- 15- 2005 - «Житлові будинки» [73];
- ДБН В.2.6-31- 2016 «Теплова ізоляція будівель» [74];
- ДБН В.2.6-33-2018 «Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації» [75];
- ДБН В.І.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» зі зміною № 1 від 01.06.2007 [76];

Нормативним документом, що встановлює конструктивні принципи проектування фасадної теплоізоляції будинків та вимоги безпеки, є ДБН В.2.6-

ЗЗ:2018 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації» [77].

Згідно ДБН В.2.6-34:2008 конструкції зовнішніх стін будинків в залежності від конструктивних шарів поділяються на чотири класи [71]:

- штукатурками або дрібноштучними елементами (клас А);
- цеглою або стіновими каменями (клас Б);
- індивідуальними елементами (клас В);
- прозорими елементами (клас Г).

Для кожного з чотирьох конструктивних класів фасадної теплоізоляції, передбачено нормативні документи рівня ДСТУ – це державні стандарти з технічних умов, які встановлюють вимоги щодо експлуатаційних характеристик та інших властивостей конструкцій, включаючи довговічність та надійність, а

Теплоізоляційні вироби і конструкції з невентильованими повітряними прошарками є багатшаровими конструкціями. Вони складаються з жорсткого каркасу з включеннями. Дослідження показують, що при проходженні тепла через 1 м³ вертикального повітряного прошарку за одну годину при різниці температур на його поверхнях 5° при товщині прошарку від 10 до 200 мм, на долю теплопровідності доводиться 38-42%, конвекції 2-20 %, випромінювання 60-79%. [81]

Невентильовані повітряні прошарки ефективно працюють при товщині 6-10 мм, за умови відсутності конвективного руху всередині, який виникає внаслідок різниці температур на поверхнях прошарку.

Термічний опір повітряних прошарків збільшується зі зниженням температури прошарків. А тому більш раціонально розташовувати повітряні прошарки ближче до зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, де температура в зимовий час менша. [81].

Внаслідок того, що теплопередача в повітряних прошарках більшою мірою залежить від випромінювальної складової, доцільно використовувати енерговідбиваючі екрани.

1.2.2 Рулонні фольговані матеріали

На сучасному ринку будівельних матеріалів відбиваюча теплоізоляція – це рулонні матеріали, які складаються з основного і відбиваючого шару. Останній представлений фольгою з високим коефіцієнтом відбиття (до 90 %). В якості основи може використовуватись будь-який ізоляційний матеріал з хорошими фізико-механічними властивостями, а для посилення експлуатаційних властивостей застосовуються армовані сітки [62].

Існує кілька нюансів використання подібних утеплювачів [62]:

- нанесене алюмінієве напилення на поліетиленову або лавсанову плівку не відображає теплові хвилі інфрачервоного типу;
- щоб випромінювання дійсно відбивалося, потрібен товстий шар фольги;
- для слабких теплових хвиль вистачить тонкого напиленого шару в 20-30 ангстрем;

Експлуатаційні якості такого матеріалу такі [60], [62]:

- для виробництва застосовуються поліетилен і фольга, які допустимі для харчової промисловості, а тому матеріал відповідає гігієнічним стандартам;
- полірована алюмінієва фольга відбиває до 97 %, а випромінює не більше 5 % теплової енергії;
- ізоляція пожежостійка, негорюча і відноситься до важкозаймистих матеріалів;
- зниження тепловтрат знижує витрати на опалення, витрати на теплоізоляцію приміщення в порівнянні з вартістю інших матеріалів.

Відбиваюча теплоізоляція рулонних матеріалів має такі недоліки [60]:

- відсутність жорсткості не дає можливості оздоблювати ізольовану стіну штукатуркою і шпалерами;
- прибивання матеріалу погіршує теплоізоляційні якості;
- при утепленні зовнішніх стін його можна застосовувати тільки як додатковий шар, що відбиває тепло і захищає від вологи.

Найпопулярніші марки подібної ізоляції на сьогоднішній день – Порілекс НСЕ-ЛФ, Екофол і Пенофол, БестІзол. Виробники Урса, Ізовер і Роквул виготовляють відбиваючі утеплювачі на основі мінеральної вати різної щільності і товщини. Сучасний ринок пропонує фольговані теплоізоляційні матеріали у вигляді матів і циліндрів, якими зручно ізолювати трубопроводи і вентиляційні канали [63].

БестІзол – це паро-тепло- і звукоізоляційний матеріал з відбивною здатністю, при виробництві якого використовується поліетиленова піна з закритими порами і фольга з алюмінію. Товщина пінополіетилену може коливатися від 2 до 10 мм, а товщина фольги – від 7 до 14 мм в залежності від марки [63]. Може бути декількох модифікацій [63]:

тип А – пінополіетилен з одностороннім фольгуванням;

тип В – з двостороннім фольгуванням;

тип С – з одного боку наноситься фольга, а з іншого – клей із шаром адгезійного матеріалу.

Ефективний цей тип відбивача не тільки для утеплення житлових будинків, але і для ізоляції вентиляційних коробів, фургонів, металевих конструкцій [64].

Легкість і міцність дозволяє вбудовувати цей теплоізоляційний матеріал в металеві конструкції шляхом фіксації до каркасу. Це не потребує додаткових витрат на спорудження тимчасових конструкцій, решіток для закріплення ізоляції [60].

Алюмінієвий скотч використовується для стикування швів елементів відбиваючої теплоізоляції. Типи Ф-20 і Ф-30 являють собою фольгу товщиною 20 і 30 мкм відповідно з клейовим покриттям і постійною липкістю [64].

Відбиваюча теплоізоляція може використовуватись для всіх поверхонь, очищених від бруду та пилу, підходить для складних конструкцій з кутами, вигинами і перепадами. При утепленні стін із зовнішнього боку можна досягти максимального ефекту при створенні повітряного зазору в 20 мм з фольгованого боку.

Основні види і характеристики відбиваючої теплоізоляції наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.1

Основні характеристики та зовнішній вигляд різновидів пінофолу

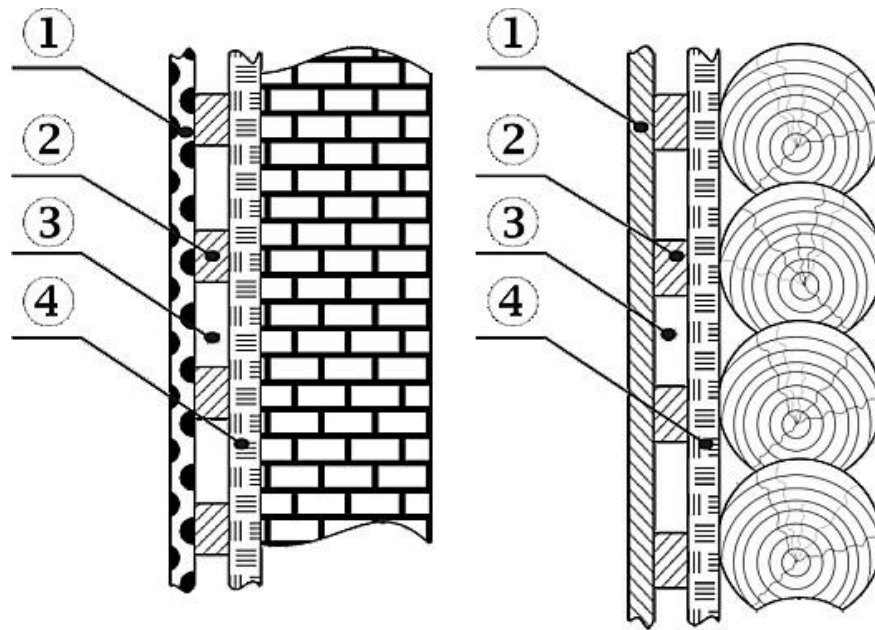
Вид матеріалу	Пінофол	Ізолон	Екофон	Ізофлекс
Коеф. теплопровідності, Вт/(м×°С)	0,049	0,04	0,049	0,035
Середня щільність, кг/м ³	35	26-33	33	35-45
Тепловідбиваюча здатність, %	Не менше 90	95-97	Не менше 80	Не менше 90
Діапазон робочих температур, °С	-60 до +100	-80 до +80	-60 до +90	-60 до +80
Паропроникність, мг/м×год×Па	0,001	0,001	0,001	0,001

1.2.3 Методи утеплення будівель і споруд енерговідбиваючими, теплоізоляційними матеріалами

Утеплення огорожувальних конструкцій будівель та споруд рулонними, енерговідбиваючими, фольгованими матеріалами відбувається як зсередини, так і зовні будівель.

При утепленні приміщення зсередини рекомендується виконувати рулонну теплоізоляцію у таких варіантах [64]:

- перший варіант – зробити 2 повітряних зазори між зовнішньою стіною і матеріалом, між ізоляцією і облицюванням (наприклад, гіпсокартоном).
- другий варіант – створення одного зазору між зовнішньою стіною і ізоляцією, для чого застосовується фольгований із двох сторін матеріал. Фольгу зорієнтовують всередину приміщення (рис. 1.1).



1 – внутрішній оздоблювальний шар; 2 – дерев'яні рейки; 3 – повітряні прошарки; 4 – фольгований теплоізолюючий матеріал.

Рис. 1.1 Схема утеплення огорожувальної конструкції рулонним фольгованим матеріалом

Для трубопроводів необхідно використовувати ізоляцію з двостороннім фольгуванням. Якщо трубопроводи мають діаметр менше 159 мм, то можна не створювати повітряний прошарок між теплоізоляційним матеріалом і трубою. Якщо діаметр більший за 159 мм, то виконання повітряного прошарку обов'язкове [62].

Повітряний зазор влаштовується таким чином:

- I – кріплення кілець з фольгованої плівки до труби на відстані 300-400 мм один від одного. А поверх кілець труба обмотується ізоляцією;
- II – вздовж труби прокладаються дерев'яні бруски з перерізом 10×10 мм або 20×20 мм, після чого відбувається обмотка ізоляцією.

Стики потрібно заклеїти алюмінієвим скотчем.

Утеплення зовні будівель використовується рідше, оскільки основним недоліком таких матеріалів є недостатня жорсткість. Це зумовлює певні труднощі при виконанні монтажних робіт, основні з яких [62]:

- утеплювач потрібно класти стороною з алюмофольгою зсередини

приміщення - при такому розташуванні відображення інфрачервоного спектра теплового випромінювання максимально.

- з огляду на те, що матеріал досить м'який, для укладання на вертикальні і горизонтальні площини використовують самоклеючі різновиди або монтаж із застосуванням обрешітки з дерев'яних рейок, металопрофілю для гіпсокартону.
- щоб уникнути містків холоду, рулони або листи укладають з нахлестом, місця стиків заклеюють липкою стрічкою (скотчем).
- фольгоізол не використовують разом з оздоблювальними будівельними матеріалами - на ньому не тримається штукатурка, шпалери, його не фарбує. Тому внутрішня обробка над утеплювачем повинна бути з міцних жорстких матеріалів - найчастіше використовують вагонку, пластикові панелі, гіпсокартонні (гіпсоволокнисті) листи, деревостружкові та деревоволокнисті плити (ДСП, ДВП, МДФ)

Особливістю є те, що відбиваючий матеріал монтується на дерев'яні рейки для того, щоб створити повітряний простір, який є основною умовою роботи матеріалу. В таких умовах теплоізоляції стіна починає працювати як термос, відбиваючи тепло в середину будівлі.

При великій поверховості будівлі виникають незручності з монтажем такої теплоізоляції, витрата деревини і вартість утеплення помітно зростає. Крім того для закріплення матеріалу на стіну застосовуються дюбелі, які є містками холоду.

Технологічним і раціональним рішенням було б виготовлення і використання заводських дрібнорозмірних будівельних виробів із застосуванням відбиваючої, фольгованої ізоляції.

1.3 Робоча гіпотеза досліджень

В основу досліджень поставлено задачу створення теплоізоляційної фасадної плитки, в якій за рахунок використання невентильованих екранованих повітряних прошарків досягається нормативний термічний опір огорожувальних конструкцій при зменшенні їх товщини, підвищується жорсткість і міцність панелей, що приводить до зниження собівартості виробу і трудомісткості монтажу.

Поставлена задача вирішується тим, що в фасадній термоізоляційній плитці, що містить передню, задню стінки, бічні грані і замкові елементи у вигляді виступів і заглибин, розташованих зі зміщенням у шаховому порядку, і виконана з можливістю кріплення, передня і задня стінки утворюють каркас з порожниною, заповненою теплоізоляційним матеріалом. Як теплоізоляційний матеріал використовуються екрановані фольгованим матеріалом прошарки повітря.

Форма панелі забезпечує подвійне перекриття огорожуючих конструкцій будівлі теплоізоляційним виробом, виключаючи таким чином містки холоду.

1.4 Висновки

1. Тепловідбиваюча ізоляція більш ефективна в температурних умовах холодного періоду року, в яких експлуатуються огорожувальні конструкції будівель, споруд та інженерних систем в кліматичних умовах України.

2. Виникає необхідність в розробці методики теплового розрахунку екранної ізоляції, яка виявилася б прийнятною для практичного застосування. Наявні методи теплового розрахунку екранної ізоляції при стаціонарному теплопереносі враховують випромінювальну складову в процесі передачі тепла, а методики, які враховують всі види теплопередачі через замкнутий екранований повітряний прошарок, пов'язані з великим обсягом обчислень, що призводить до виникнення похибок і неточностей. У нормативній літературі термічний опір замкнутого екранованого повітряного прошарку оцінюється дуже наближено.

3. Високі експлуатаційні властивості відбиваючої ізоляції, як це вказується в багатьох роботах провідних дослідників, практично не змінюються в умовах високих і низьких температур, а також в умовах високої вологості і вібрації. Одним з існуючих недоліків відбиваючої ізоляції є можливість наявності контакту між окремими екранами, який може виникнути при монтажі або деформації. Це, безумовно, призводить до зміни товщини повітряних прошарків і зміни температур на поверхні екранів, що згодом є причиною зниження ефективності роботи ізоляції.

4. У даний час достовірна інформація по теплозахисних властивостях екранної ізоляції практично відсутня, а наявна інформація, яку, як правило, надають самі виробники, носить суперечливий характер. Дрібно розмірні вироби з жорстким каркасом і невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом, не представлені на ринку теплоізоляційних матеріалів, що зумовлює потребу в їх розробці і дослідженні.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ КОНСТРУКЦІЙ

2.1 Методологія дослідження теплопровідності багат шарових будівельних виробів

Державним підприємством «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» організована співпраця з великою кількістю проектних та будівельних організацій і замовників щодо проблем енергоефективності.

Розроблено ДБН «Теплова ізоляція будівель» та ряд інших нормативних документів, розпочата робота за Галузевою програмою підвищення енергоефективності у будівництві на 2010-2014 роки, що затверджена наказом Мінрегіонбуду від 30.06.2009 р. № 257.

Проведено і задокументовано ряд кваліфікаційних випробувань теплотехнічних показників теплоізоляційних матеріалів та систем фасадного утеплення.

В Україні випробування теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій повинно проводитись відповідно до ДСТУ Б В.2.6-101:2010 [77], ДБН В.2.6-31:2016 [74].

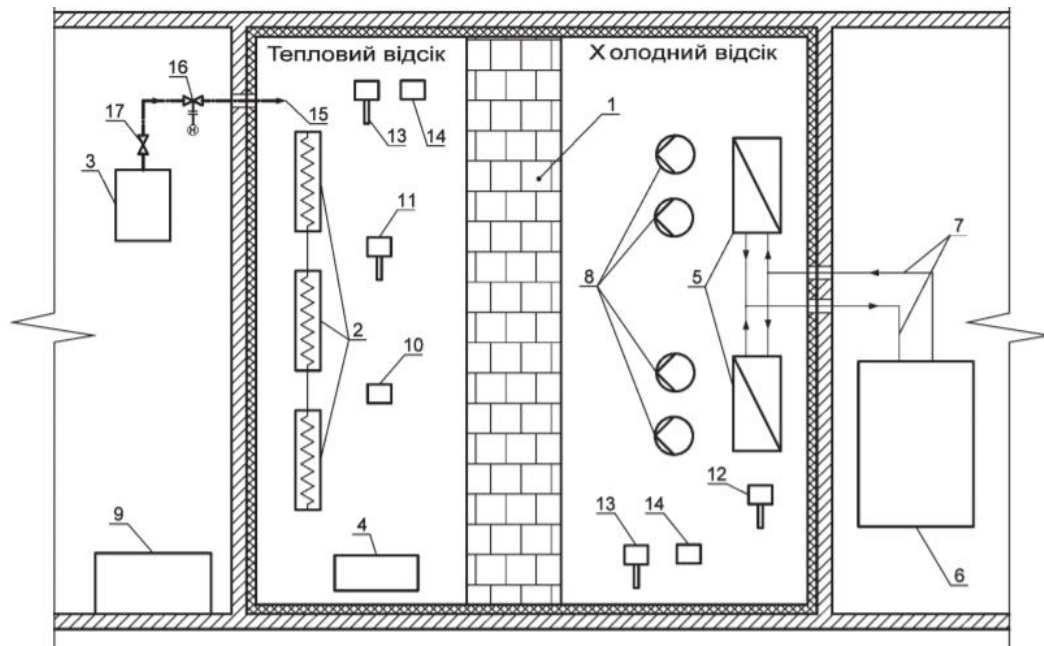
У відповідності до цих стандартів існує визначена методика та обладнання для дослідження теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій.

Для проведення лабораторних випробувань огорожувальних конструкцій в лабораторних умовах застосовують комплекс випробувального устаткування – кліматичну камеру (рис. 2.1, 2.2), де розміщують досліджувальний зразок огорожувальної конструкції. По обидва боки зразка створюють вологісно-температурний режим із параметрами, близькими до розрахункових зимових умов експлуатації огорожувальних конструкцій [75].

За результатами теплових випробувань для термічно однорідних

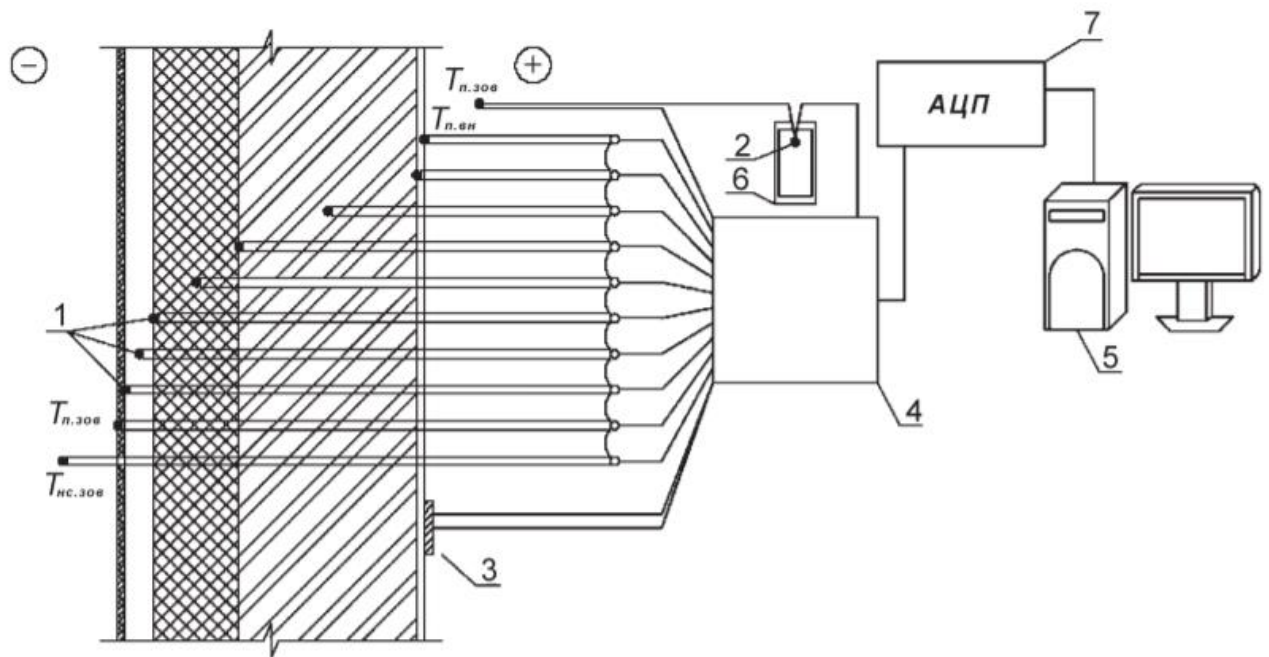
огороджувальних конструкцій визначають термічний опір теплопередачі, а для термічно неоднорідних огороджувальних конструкцій – приведений термічний опір теплопередачі [75].

Коефіцієнт теплопровідності не залежить від умов випробування і є теплофізическим показником теплоізоляційного матеріалу, тепловий потік через який являє собою поєднання кондукційного та радіаційного потоків. Коефіцієнт теплопропускання матеріалу можна розглядати як граничне значення коефіцієнта теплопередачі шару матеріалу великої товщини, через який проходить тепловий потік. Коефіцієнт теплопропускання може бути представлений як еквівалентна, удавана або ефективна теплопровідність матеріалу [82].



1 – досліджувана огороджувальна конструкція; 2 – нагрівач; 3 – парозволожувач; 4 – кондиціонер; 5 – охолоджувальні батареї; 6 – холодильне обладнання; 7 – трубопроводи холодагента; 8 – вентилятори; 9 – системи автоматичного збору даних; 10 – датчик регулювання вологості повітря теплового відсіку; 11 – датчик регулювання температури теплового відсіку; 12 – датчик регулювання температури холодного відсіку; 13 – датчик контролю температури; 14 – датчик контролю вологості; 15 – паопровід; 16 – регулююча заслінка; 17 – запірний кран.

Рис. 2.1. Кліматична камера [82]



1 – робочі спаї термопар; 2 – опорний спай термопар; 3 – перетворювач теплового потоку; 4 – комутатор сигналів; 5 – ПК з відповідним програмним забезпеченням; 6 – термостат (посудина Дьюара); 7 – аналогово-цифровий перетворювач

Рис. 2.2. Переріз стіни та підключення первинних перетворювачів [82]

Визначення коефіцієнту емісії актуальне для всіх випадків дослідження, розрахунку та моделювання радіаційного теплообміну, зокрема при визначенні властивостей енергоефективного скла та вікон, покриття елементів тепловідбиваючої ізоляції, при проведенні пірометричних та тепловізійних вимірювань. Прилади для визначення коефіцієнта емісії можна класифікувати за різними признаками, але найбільш вживаною є класифікація за умовами застосування - стаціонарні лабораторні та переносні прилади [84].

В Інституті технічної теплофізики НАН України створені прилади та методики проведення вимірювань тепловими методами напівсферичного ступеню чорноти. Методика визначення ступеню чорноти із застосуванням приладу ИТ-7С.

Прилад ИТ-7С призначений для вимірювання теплового опору та теплопровідності зразків теплоізоляційних та будівельних матеріалів методом

пластини [84]. Створена методика вимірювань дозволяє використовувати його і для визначення ступеню чорноти скла та інших плоских зразків. Для проведення вимірювань терморадіаційних характеристик скла та покриттів формують дослідний зразок (рис. 2.3) у вигляді блоку (паketу) з стекл з повітряним проміжком заданої величини $h_{\text{пов}}$. Два зразки скла розташовують паралельно один до іншого, при цьому сторони з покриттям повинні бути всередині, тобто знаходяться один напроти одного.

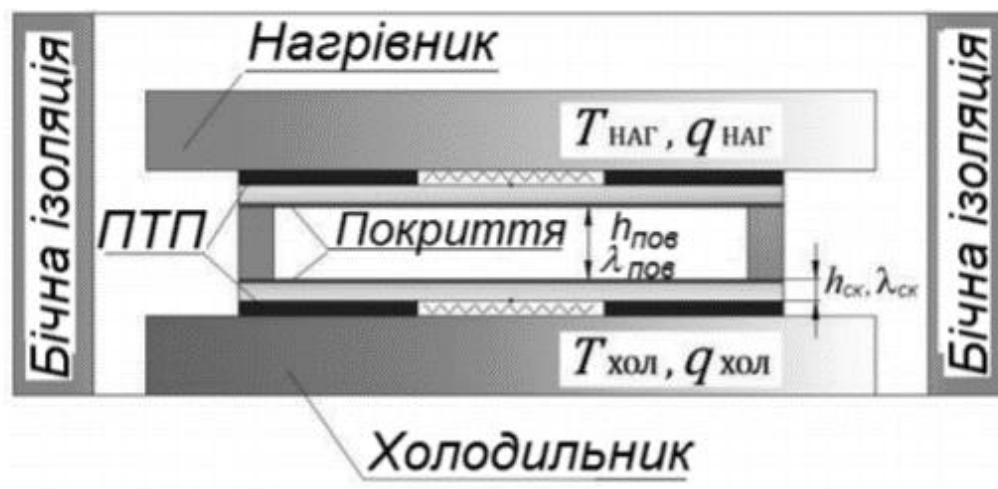


Рис. 2.3 Схема розміщення дослідного пакета у вимірювальній комірці теплового блоку приладу ИТ-7С [84].

Пакет встановлюють в вимірювальну комірку теплового блоку установки ИТ-7С і задають значення температури нагрівника $T_{\text{наг}}$ і холодильника $T_{\text{хол}}$ блоку таким чином, щоб перепад температури на поверхнях дослідного пакета становив приблизно 10 К. У стаціонарному режимі вимірюють різницю температур на верхній і нижній поверхнях пакету стекл і густину теплового потоку, що проходить крізь цей пакет. На підставі проведених вимірювань розраховують тепловий опір пакету та значення приведенного коефіцієнту емісії $\epsilon_{\text{пр}}$ для двох паралельних зразків, що утворюють його [84].

Створена методика робить прилад ИТ-7 універсальним засобом дослідження будівельних матеріалів і дозволяє застосовувати його для вимірювання теплового опору, теплопровідності та ступеню чорноти поверхонь зразків [84].

2.2 Аналіз та вибір методики та обладнання для проведення дослідження теплопровідності

З практичної точки зору дослідження теплофізичних властивостей екранної ізоляції має велике значення для оцінки теплозахисних характеристик будівельних конструкцій.

Дані за коефіцієнтами теплопровідності екранної ізоляції є необхідними для проведення наукових та інженерних розрахунків, а також дослідження теплового режиму огорожувальних конструкцій, утеплених за допомогою таких матеріалів.

Метою дослідження було визначення теплопровідності матеріалів екранної ізоляції, а також теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій, утеплених із застосуванням подібних матеріалів. Об'єктом дослідження були сучасні матеріали, що застосовуються в якості екранної ізоляції, і огорожувальні конструкції, утеплені за допомогою цих матеріалів. Стаціонарні методи вимірювання теплопровідності, найпростіші за теоретичним обґрунтуванням, почали розвиватись раніше інших методів і нині досягли високого рівня за рахунок використання сучасних засобів контролю і вимірювання.

В Україні випробування теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій повинно проводитись відповідно до ДСТУ Б В.2.6-101:2010 [77], ДБН В.2.6-31:2016 [75].

Суть методу полягає у створенні стаціонарного теплового потоку, що проходить крізь плоский зразок визначеної товщини і направлений перпендикулярно до лицьових (найбільших) граней зразка, вимірюванні щільності цього теплового потоку, температури протилежних лицьових граней і товщини зразка.

Температура і відносна вологість повітря приміщення, у якому проводять випробування, повинні бути відповідно (295 ± 5) К і (50 ± 10) %.

Тепловий потік крізь зразок, який випробовується, вважається усталеним

(стаціонарним), якщо значення термічного опору зразка, обчислені за результатами п'яти послідовних вимірювань сигналів датчиків температур і щільності теплового потоку, відрізняються один від одного менше ніж на 1 %, при цьому ці величини не зростають і не убувають монотонно.

Обчислюють різницю температур ΔT_u лицьових граней і середню температуру T_{mu} зразка, що випробовують, за формулами:

$$\begin{aligned}\Delta T_u &= T_{1u} - T_{2u}, \\ T_{mu} &= (T_{1u} + T_{2u}) / 2.\end{aligned}\quad (2.1)$$

При обчисленні теплофізичних показників зразка і щільності стаціонарного теплового потоку в розрахункові формули підставляють середньоарифметичні значення результатів п'яти вимірювань сигналів датчиків різниці температур і сигналу тепломіра або електричної потужності, виконаних після встановлення стаціонарного теплового потоку крізь зразок, який випробовують.

При проведенні випробування на приладі, зібраному за асиметричною схемою, термічний опір R_u зразка обчислюють за формулою

$$R_u = \frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_k, \quad (2.2)$$

Ефективну теплопровідність λ_{effu} матеріалу зразка обчислюють за формулою

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_k}. \quad (2.3)$$

2.2.1 Характеристика матеріалів та обладнання, конструювання лабораторної установки

Для проведення досліджень теплопровідності будівельних виробів з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом обрано такі матеріали:

- ДСП ламінована СВІСС КРОНО 2800×2070×18 мм, $\lambda=0,2$ Вт/(м·К);
- Гіпсокартон звичайний Plato 2500×1200×12,5 мм, $\lambda=0,15$ Вт/(м·К);
- Скло листове 2 мм 1500×1220, $\lambda=0,96$ Вт/(м·К);
- Полікарбонат стільниковий 4 мм 1050×3000 мм, $\lambda=0,026$ Вт/(м·К);
- Екструзійний пінополістирол TECHNONICOL, 1180×580×20 мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К);
- Плитка для підлоги (полімеркомпозитна) 330×330×17 мм, $\lambda=1,15$ Вт/(м·К).

Основні технічні характеристики матеріалів наведні в табл. 2.1-2.6.

Таблиця 2.1

Основні технічні характеристики гіпсокартону [87]

Найменування характеристик	Значення
1	2
Теплопровідність, Вт/м·К	0,15
Границя міцності на згин, МПа	5,5
Водопоглинання за 24 год, % в об'ємі, не більше	10
Група горючості	Г1
Щільність, кг/м ³	1250
Термін експлуатації, років	5-7

Таблиця 2.2

Основні технічні характеристики ДСП [88]

Найменування характеристик	Значення
Теплопровідність, Вт/м·К	0,07-0,25
Границя міцності на згин, МПа	10-15
Водопоглинання за 24 год, % в об'ємі, не більше	12-88
Вологість, %	6-10
Група горючості	Г4
Щільність, кг/м ³	820

Таблиця 2.3

Основні технічні характеристики скла [89]

Найменування характеристик	Значення
Теплопровідність, Вт/м·К	1,15
Границя міцності на згин, МПа	30-100
Водопоглинання за 24 год, % в об'ємі, не більше	12-88
Група горючості	Г1
Щільність, кг/м ³	2200-2900
Питома теплоємність, кДж/кг К	0,84
Коефіцієнт Пуассона	0,25
Випромінювальна здатність, Вт/м К	0,84

Таблиця 2.4

Основні технічні характеристики полікарбонату [90]

Найменування характеристик	Значення
Щільність г/см ³	1,4
Температура деформації при нагріванні, °С	62-65
Температурний діапазон, °С	від 0 до +50
Теплопровідність, Вт/м К	0,15
Ударна міцність, Дж	95
Межа міцності при згині, МПа	103
Модуль межі міцності при згині, МПа	3,4
Модуль межі текучості, МПа	3,6
Водопоглинання, %	0,03

Таблиця 2.5

Основні технічні характеристики полімерпіщаної плитки [91]

Найменування характеристик	Значення
1	2
Теплопровідність, Вт/м·К	0,85
Границя міцності на згин, МПа	30-100
Водопоглинання за 24 год, % в об'ємі, не більше	12-88
Група горючості	Г1
Щільність, кг/м ³	2200-2900
Питома теплоємність, кДж/кг К	0,84
Коефіцієнт Пуассона	0,25
Випромінювальна здатність, Вт/м К	0,84

Таблиця 2.6

Основні технічні характеристики екструдованого пінополістиролу [92]

Найменування характеристик	Значення
1	2
Теплопровідність, Вт / м·К	0,029-0,036
Границя міцності на згин, мПа	0,30
Водопоглинання за 24 год, % в об'ємі , не більше	0,2
Група горючості	Г4
Щільність, кг / м ³	26-32
Питома теплоємність, кДЖ/кг К	0.84
Коефіцієнт Пуассона	0.25

Як екрануючий матеріал використано фольгований крафт папір $\lambda=0,04$ Вт/(м·К), $\delta=0,13$ мм та полотно Izolon с односторонім фольгуванням Air 5 мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К). Основні технічні характеристики матеріалів наведні в табл. 2.7-2.8.

Таблиця 2.7

Основні технічні характеристики фольгованого крафтпаперу [93]

Колір:	Матовий /коричневий
Щільність:	104 г/м ²
Товщина:	0,13 мм
Міцність при розриві:	Поздовжня: 47,5 Н/см Поперечна 23,5 Н/см
Відносне подовження при розриві:	Поздовжнє: 1,40 % Поперечний 3,50 %
Коефіцієнт теплопровідності	0,04 Вт / (м×К)
паропроникність:	0,06 г/м ² /24 год
Горючість, DIN 4102:	B 2
Площа поверхні:	30 м ²
Розміри рулону:	1,25×24 м

Таблиця 2.8

Основні технічні характеристики ізолону [94]

Найменування характеристик	Значення
Густина	$40 \pm 5 \text{ кг/м}^3$
Водопоглинання (за добу)	0,74 %
Міцність на стиск 50 %	0,183 МПа
Міцність на розтяг	1,35 МПа
Подовження при розриві	65,5 %
Коефіцієнт теплопровідності	0,0344 Вт/(м·К)
Теплова усадка при 150 гр. протягом 48 годин	в межах допустимих 3 %

Матеріали для лабораторної установки обирались за такими основними властивостями:

- теплопровідність;
- гладкість / шорсткість поверхні;
- будова.

Так, наприклад, гіпсокартон має шорстку неглянцеву поверхню, яка мала б поглинати випромінювання краще, ніж ДСП з ламінованою, глянцевою поверхнею. Скло, має щільну структуру, високу теплопровідність і поверхню з високою відбиваючою здатністю, тоді як полікарбонат в своїй структурі має прошарки повітря і відповідно нижчу теплопровідність.

Розроблена експериментальна установка являє собою куб із гранями багатошарової будови, кожна з яких містить такі шари (рис 2.4, 2.5):

- 1 – Скло $\delta=4 \text{ мм}$, $\lambda=1,15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$,
- 2 – ДСП $\delta=18 \text{ мм}$, $\lambda=0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$,
- 3 – Гіпсокартон $\delta=12 \text{ мм}$, $\lambda=0,15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$
- 4 – Полікарбонат $\delta=4 \text{ мм}$, $\lambda=0,026 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$,
- 5 – дерев'яні вкладки товщиною $x_{1,2}$ для регулювання товщини повітряного прошарку;
- 6 – прошарок фольги.

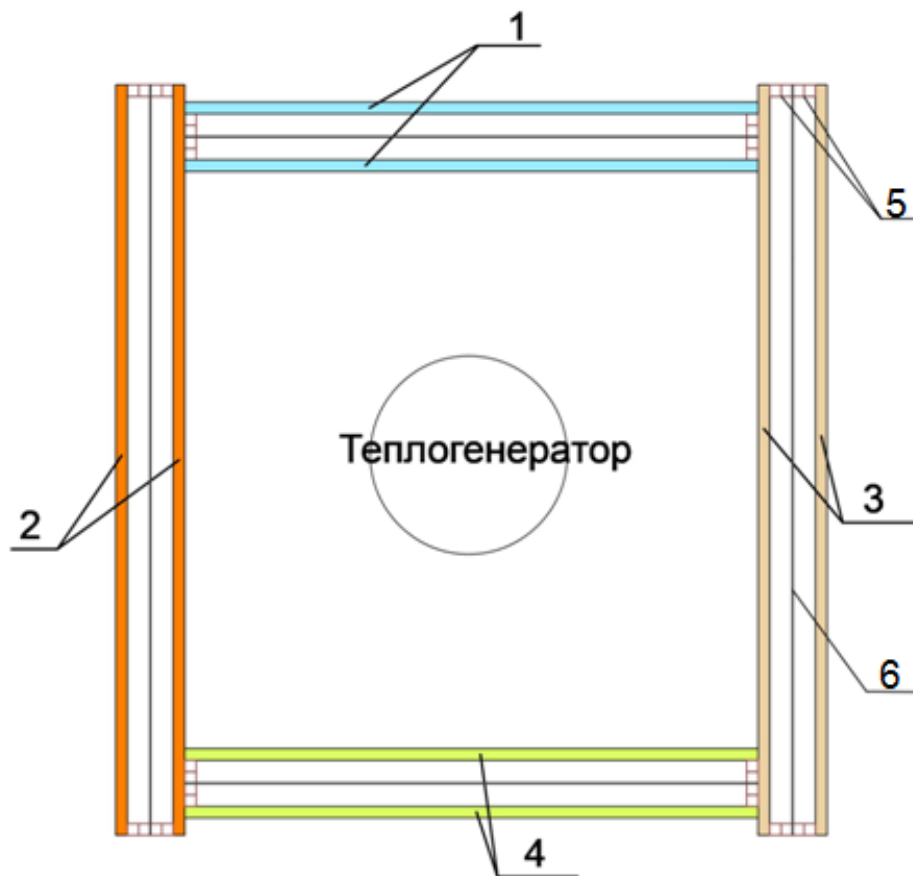


Рис. 2.4 Схема експериментальної установки

Кожна сторона установки має багатшарову конструкцію. Вона складається з паралельно розміщених площин відповідного матеріалу, дерев'яної рами з фольгованим матеріалом між ними. Рама з фольгою має товщину 10 мм, тобто між стінками матеріалу і фольгою утворюються повітряні прошарки товщиною 10 мм. Для подальшого регулювання товщини повітряних прошарків використовуються дерев'яні бруски товщиною 5 мм, що вкладаються між площиною матеріалу і рамою (рис. 2.6).

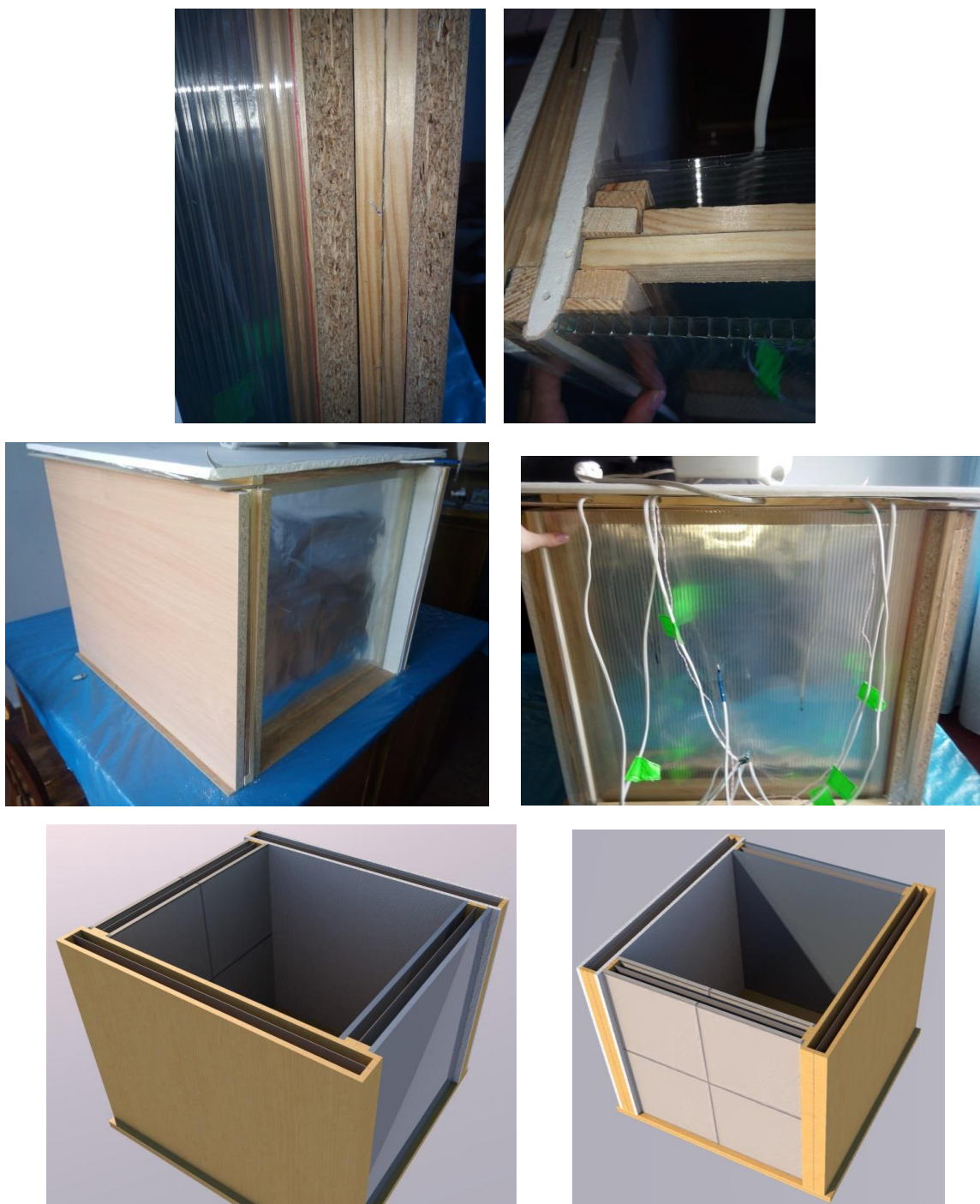


Рис. 2.5 Фотофіксації експериментальної установки

Термодатчики встановлювались крізь отвори в дерев'яних рамах і кріпились у відповідному порядку: термодатчики під номером 2, 3, 5, 7, 6 на поверхні стінок конструкції, а датчики під номером 1, 4, 6, “зовн” в повітряні прошарки .

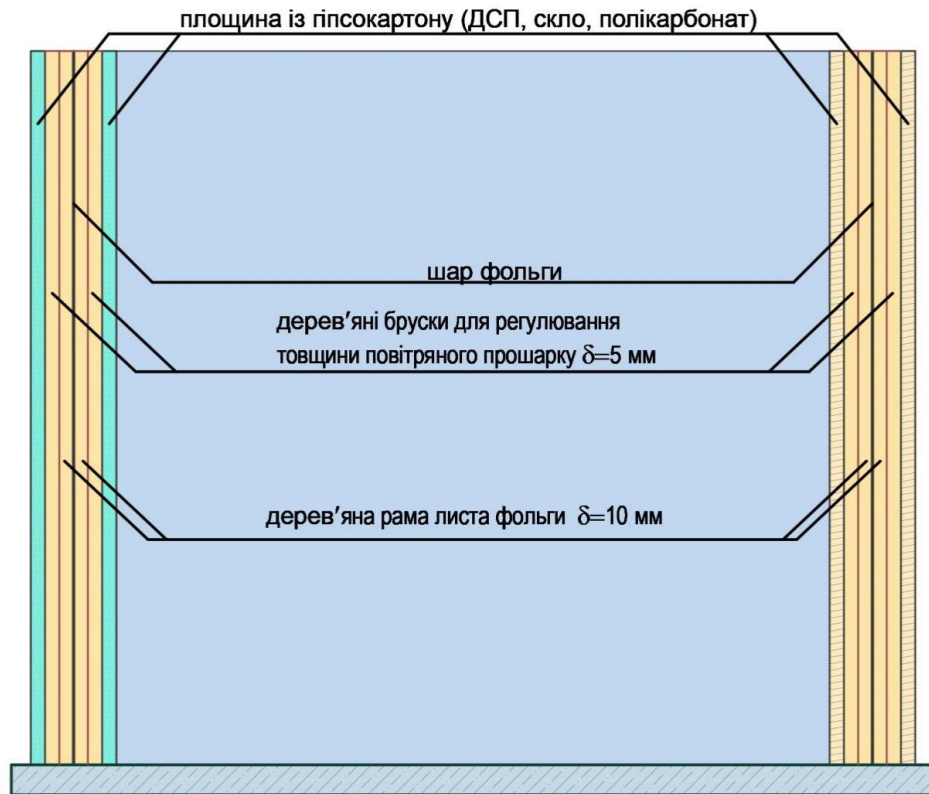


Рис. 2.6 Поперечний розріз експериментальної установки

При проведенні експерименту замірювання температури на відповідних шарах конструкції відбувалось за допомогою багатоканального термометра Т-0,56 МК (рис. 2.7), призначеного для дистанційного вимірювання температури в різних технологічних процесах. Вимірювач здатний відображати температуру від одного до десяти датчиків температури DS18B20 на відстані до 100 метрів. У базовому варіанті прилад комплектується двома датчиками температури. Якщо необхідно більше датчиків, то вони купуються за потребою. Діапазон вимірюваної температури від $-55,0$ до 125°C .

Похибка вимірювання температури $0,1^{\circ}\text{C}$.

Кількість каналів вимірювання від 8.

Напруга живлення DC12 Вольт. Струм 30 мА.

Довжина проводів з'єднують прилад з датчиком в базовому варіанті 1,4 м.

Висота цифр індикатора приладу 14 мм.

Канали приладу t_{1-8} встановлюються відповідно до схеми на рис. 2.5.

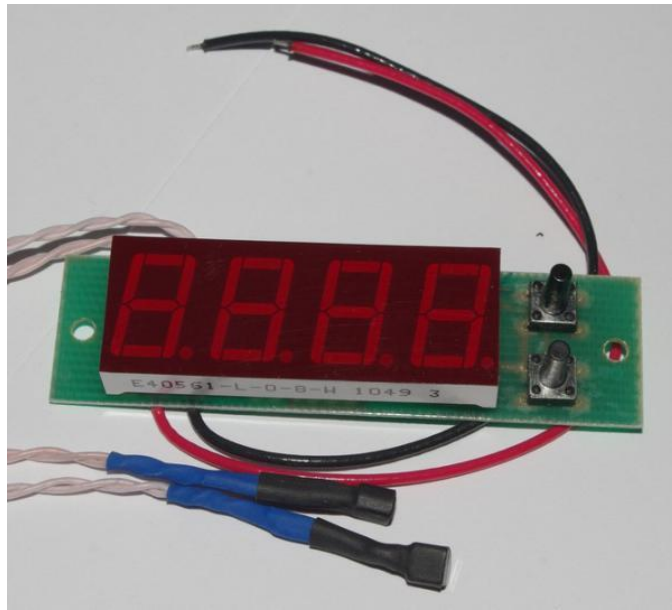


Рис. 2.7 Багатоканальний термометр Т-0,56МК

Для тепловізійного обстеження досліджуваних поверхонь використовувався інфрачервоний тепловізор НТ-А2 (рис. 2.8), технічні характеристики якого наведені в табл. 2.9.



Рис. 2.8 Інфрачервоний тепловізор НТ-А2

Таблиця 2.9

Технічні характеристики тепловізора НТ-А2

модель	НТ-А2
Роздільна здатність інфрачервоного зображення:	320×240
роздільна здатність видимого зображення:	640×480 (300 000 пікселів)
Екран дисплея:	3,2-дюймовий повнокутний TFT-екран
Роздільна здатність РК:	320×240
Кут поля / довжина фокусу:	56°×42° / 4,0 мм
Теплова чутливість:	0,07 °С
Діапазон вимірювання температури:	-20 ° до 300 ° (-4 ° до 572 °)
Точність вимірювання:	± 2% / ± 2
Емісивність:	Регулюється від 0,01 до 1,00
Частота кадрів теплових зображень:	9 Гц
Покриття довжини хвилі:	8-14 мкм
Режим фокусування:	Твердо
Колірна палітра:	Веселка, оксид заліза червоний, холодний колір, чорно-білий, білий і чорний
Робоча температура:	Від 0° до 45°
Температура зберігання:	-20 °С до 60 °С
Відносна вологість:	<85 % вологості
Вага:	Прибл. 425 г.
Розмір:	Прибл. 140×80×28 мм / 5,5×3,2×1,1 дюйма

В якості теплогенератора використовується тепловентилятор Maxwell MW-3452 з термостатом і потужністю нагрівання 2,0 кВт.

2.2.2 Проведення експерименту

Принцип роботи приладу полягає в створенні стаціонарного теплового потоку, що проходить через плоский зразок певної товщини і спрямованого перпендикулярно до його лицьових граней, вимірюванні товщини зразка, щільності теплового потоку і температури протилежних лицьових граней.

Загальний вигляд приладу представлений на рис. 2.1–2.4.

Нагрівальна установка приладу включає блок управління нагрівачем і джерело живлення.

При використанні зразків кінцевих розмірів частина теплового потоку, що надходить в зразок, розсіюється в навколишнє середовище через торцеві поверхні і це необхідно враховувати в експерименті.

Обрати за матеріалом стінку для проведення експерименту

Встановити термодатчики під номером 2, 3, 5, 7, 6 на поверхні стінок конструкції, а датчики під номером 1, 4, 6, “зовн” в повітряні прошарки відповідно до схеми (рис.2.9)

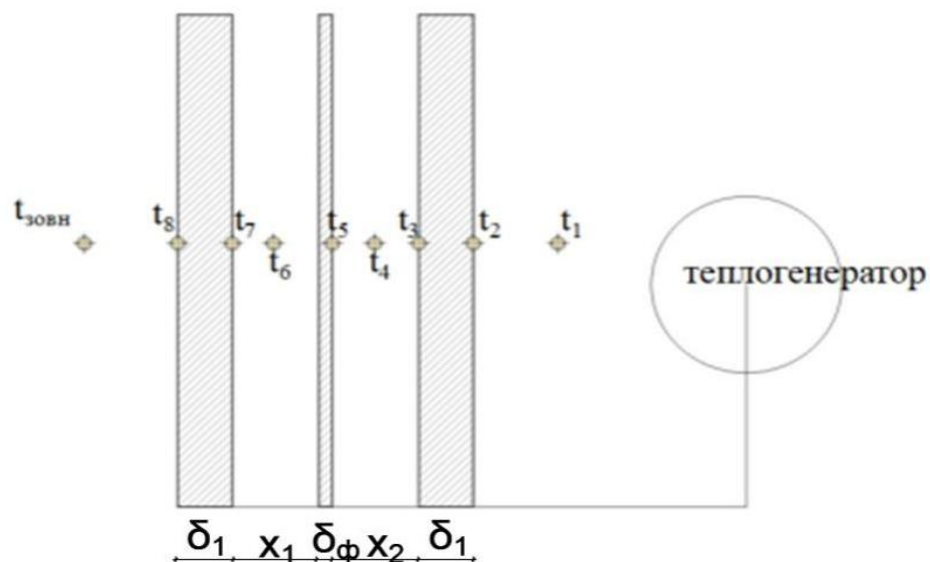


Рис. 2.9 Схема розміщення теплогенератора та каналів багатоканального термометра

Встановити дерев'яні вкладки для утворення повітряного прошарку товщиною 5 мм;

Увімкнути теплогенератор на режим потужності “1”;

При встановленні всередині камери температурного режиму 55° С спостерігати за показниками датчиків до встановлення стаціонарного режиму теплопередачі;

При встановленні стаціонарного режиму теплопередачі фіксувати показники датчиків кожні 5 хвилин протягом 60 хвилин.

Повторити експеримент при товщині повітряного прошарку 10, 15, 20, 25, 30 мм.

Повторити експеримент для кожного матеріалу при товщині повітряного прошарку 5, 10, 15, 20, 25, 30 мм.

Провести аналіз і обрахунки результатів дослідження;

Побудувати графік залежності $\lambda(x)$, де x – товщина шарів термопанелі.

2.2.3 Оцінка достовірності результатів експерименту

Достовірність отриманих експериментальних результатів згідно [95] оцінювалася по їх відтворюваності, отриманої в п'яти серіях дослідів.

Повторення дослідів проводилося в однакових умовах.

При оцінці достовірності експериментальних даних проводилися обчислення наступних показників:

1. Середньоарифметичне значення визначається параметра X і при кількості повторених дослідів $n = 5$ ($n < 30$)

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

2. Величина похибки (відхилення) для розглянутого вимірювання:

$$\Delta_i = X_i - \bar{X}$$

3. Величина середньоарифметичної похибки вимірювань серії дослідів:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta_i|$$

4. Відносна похибка вимірювань серії дослідів:

$$\delta = \frac{\bar{\Delta}}{X} 100$$

5. Величина середньоквадратичної помилки (середньоквадратичного відхилення) серії дослідів:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$$

6. Величина помилки серії дослідів:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

7. Похибка серії дослідів з числом ступенів свободи $\nu = n-1 = 5-1 = 4$ при вимозі надійності вимірювань $\beta = 0,95$ і показнику надійності $T = 3,2$:

$$a = m \cdot T$$

8. Коефіцієнт варіації серії дослідів:

$$K_i = \frac{\sigma}{X}$$

Коефіцієнт варіації у всіх випадках не перевищував значення 5 %, що свідчить про достовірність отриманих результатів.

2.3 Визначення розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки за існуючими формулами

Схематизація процесу теплообміну в зовнішній стіні, утепленій за допомогою екранної теплової ізоляції, представлена на рис. 2.10.

Запишемо постановку задачі стаціонарного теплообміну в зовнішній стіні, утепленій за допомогою екранної теплової ізоляції, при наступних припущеннях:

- переносом теплоти в напрямку осей y , z нехтуємо, тобто рішення задачі розглядаємо в одновимірній постановці для конструкції стіни;
- між утеплювачем і зовнішньою стіною приймається умова ідеального контакту.

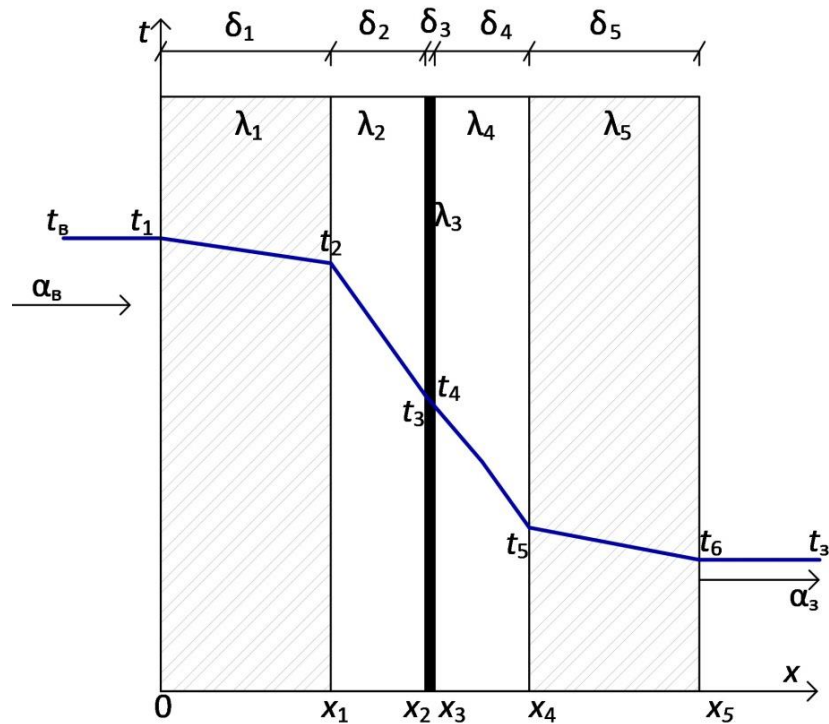


Рис. 2.10 Схематизація теплообміну в зовнішній стіні:

1, 5 – гіпсокартон; 2, 4 – повітряний невентильований прошарок;

3 – фольгований матеріал

де t_B, t_H – температура повітря всередині приміщення і зовні відповідно;

τ_B, τ_H – температура внутрішньої і зовнішньої поверхні огорджувальної конструкції;

τ_1, τ_2, τ_3 – температури на стиках шарів 1, 2, 3, 4 відповідно;

$t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ – поточні температури в шарах 1, 2, 3, 4, 5, 6 відповідно;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – відстані від внутрішньої поверхні до стиків шарів і зовнішньої поверхні огорджувальної конструкції;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ – коефіцієнти теплопровідності шарів огорджувальної конструкції;

α_B і α_H – коефіцієнти теплообміну на внутрішній і зовнішній поверхнях огорджувальної конструкції відповідно;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – товщини гіпсокартону, повітряного прошарку, фольгованого матеріалу.

Для більшості будівельних і теплоізоляційних матеріалів залежність

коефіцієнта теплопровідності від температури носить лінійний характер і має такий вигляд:

$$\lambda = \lambda_0(1 + \beta_\lambda t) \quad (2.1)$$

де λ_0 – коефіцієнт теплопровідності матеріалу при 0°C ;
 β_λ – коефіцієнт, який визначається дослідним шляхом;
 t – температура матеріалу.

Для визначення питомих втрат теплоти через захисну конструкцію запишемо наступні рівняння

$$q = \alpha_s(t_s - \tau_s), \quad (2.2)$$

$$q = \frac{\tau_s - \tau_1}{R_1}, \quad (2.3)$$

$$q = \frac{\tau_1 - \tau_2}{R_{\text{ст}}}, \quad (2.4)$$

$$q = \frac{\tau_2 - \tau_3}{R_3}, \quad (2.5)$$

$$q = \frac{\tau_3 - \tau_n}{R_4}, \quad (2.6)$$

$$q = \alpha_n(t_n - \tau_n), \quad (2.7)$$

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності повітря визначається відповідно до [48] по формулі:

$$\lambda_2 = \lambda_m \varepsilon_k + \alpha_l \delta_2, \quad (2.8)$$

λ_m – значення коефіцієнта теплопровідності повітря;

ε_k – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив природної конвекції;

α_l – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням.

Коефіцієнт ε_k в свою чергу залежить від різниці температур на поверхнях повітряного прошарку:

$$\varepsilon_{\kappa} = f(\tau_1 - \tau_2). \quad (2.9)$$

Значення коефіцієнта ε_{κ} можна визначити, використовуючи рівняння, отримане М. А. Міхєєвим при $10^3 < GrPr < 10^6$ [78]:

$$\varepsilon_{\kappa} = 0,105 \left[\frac{g\delta^3 \left(\frac{1}{0,5(\tau_1 + \tau_2) + 273} \right) (\tau_1 - \tau_2)}{v^2 Pr} \right]^{0,3}, \quad (2.10)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;
 v – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с;
 δ – визначає розмір повітряного прошарку, м;
 Pr – критерій Прандтля.

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням визначається з наступного виразу:

$$\alpha_{\lambda} = \frac{C_0 \left[\left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right]}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (2.11)$$

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – ступінь чорноти внутрішніх поверхонь прошарку.

Для того, щоб отримати рівняння теплопередачі через розглянуту захисну конструкцію, необхідно вирішити систему нелінійних алгебраїчних рівнянь (2.1) - (2.11), виключивши невідомі температури на внутрішній і зовнішній поверхнях і на стиках шарів. Точне рішення даної системи не представляється можливим. Тому пропонується наближений ітераційний метод, суть якого полягає в наступному:

-в якості першого наближення приймаються коефіцієнти теплопровідності всіх матеріалів, що входять до складу конструкції, при температурі 20 °С згідно [77] і виписуються значення з нормативної літератури [75];

-термічний опір повітряного прошарку попередньо визначається згідно [83].

В результаті отримуємо рівняння теплопередачі:

$$(2.12)$$

де

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_6} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (2.13)$$

$\alpha_в$, $\alpha_в$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь розглянутої конструкції відповідно;

R_i – термічний опір і-го шару конструкції, визначається за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (2.14)$$

δ_i – товщина і-го шару конструкції, м;

λ_i – теплопровідність і-го шару конструкції, Вт/(м °С).

Обчисливши значення питомого теплового потоку q , послідовно визначаються температури на внутрішній і зовнішній поверхнях і на стиках шарів $\tau_в$, τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 , $\tau_н$.

Температури на стиках шарів визначається за формулою:

$$\tau_n = t_в - \frac{t_в - t_з}{R_0} (R_в + \sum_{n-1} R). \quad (2.15)$$

де τ_i – температура на поверхні і-го шару;

$\sum_{i-1} R$ – сума термічних опорів і-1 шарів конструкції до розглянутого перетину, м²С/Вт.

Використовуючи формулу (2.15), можна визначити температуру на межі всіх шарів конструкції. Всередині шару, що складається з одного матеріалу,

зміну температури буде зображено прямою лінією. У багатошаровому огороженні температурна лінія представлятиме ламану, причому падіння температури буде більш інтенсивним в шарах, у яких матеріал має менший коефіцієнт теплопровідності і менш інтенсивним в шарах з великим коефіцієнтом теплопровідності.

Розглянемо теплотехнічний розрахунок конструкції, представленій на рисунку 2.11.

1 – Гіпсокартон $\delta=12$ мм, $\lambda=0,17$ Вт/(м·°К).

2 – Повітря $\delta= x_1, x_2$ $\lambda_{\text{пов}} = 0,023$ Вт/(м·°К).

3 – Алюмінієва фольга $\delta= 0,07$ мм, $\lambda=236$ Вт/(м·°К).

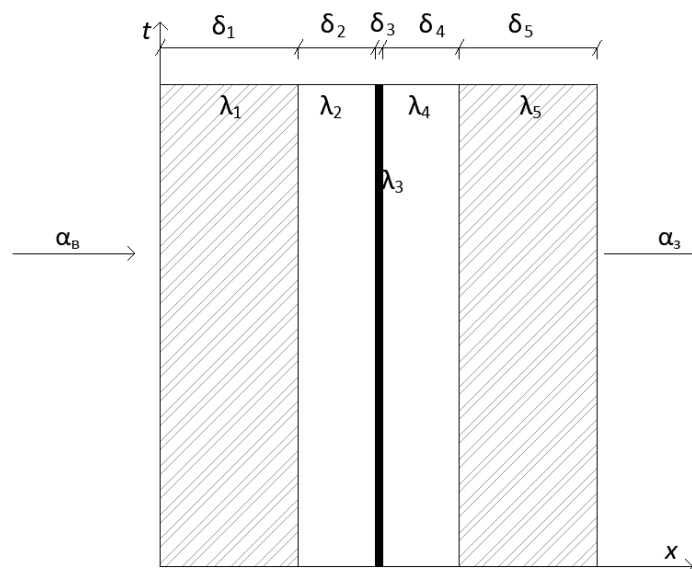


Рис. 2.11 Схематизація теплообміну в зовнішній стіні

1, 5 – гіпсокартон; 2, 4 – повітряний невентильована прошарок;

3 – фольгований матеріал

Термічний опір одношарової огорожувальної конструкції $R_{\delta} = \delta / \lambda$, м²·К/Вт;

Термічний опір багатошарової конструкції: $R_{\text{заг}} = (R_3 + R_b) + \sum R_i$

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_6} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + 2 \frac{0,012}{0,17} + 2 \frac{0,015}{0,023} + \frac{0,007}{221} = 1,72 \text{ м}^2\text{C/ Вт.}$$

За формулою визначимо температуру на стиках шарів конструкції.

$$\tau_1 = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \frac{1}{8,7} = 55,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_2 = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,17} \right) = 54,38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_3 = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{0,015 \cdot 0,5}{0,023} \right) = 46,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_4 = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{0,015}{0,023} \right) = 38,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_4' = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{0,015}{0,023} + \frac{0,0008}{236} \right) = 38,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_5 = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{0,015}{0,023} + \frac{0,0008}{236} + \frac{0,015 \cdot 0,5}{0,023} \right) = 31,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_6 = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{0,015}{0,023} + \frac{0,0008}{236} + \frac{0,015}{0,023} \right) = 23,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_7 = 58 - \frac{58 - 22}{1,72} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{0,015}{0,023} + \frac{0,0008}{236} + \frac{0,015}{0,023} + \frac{0,012}{0,17} \right) = 23,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Зобразимо розраховані температури на графіку проходження теплового потоку крізь багатошарову конструкцію (рис. 2.12)

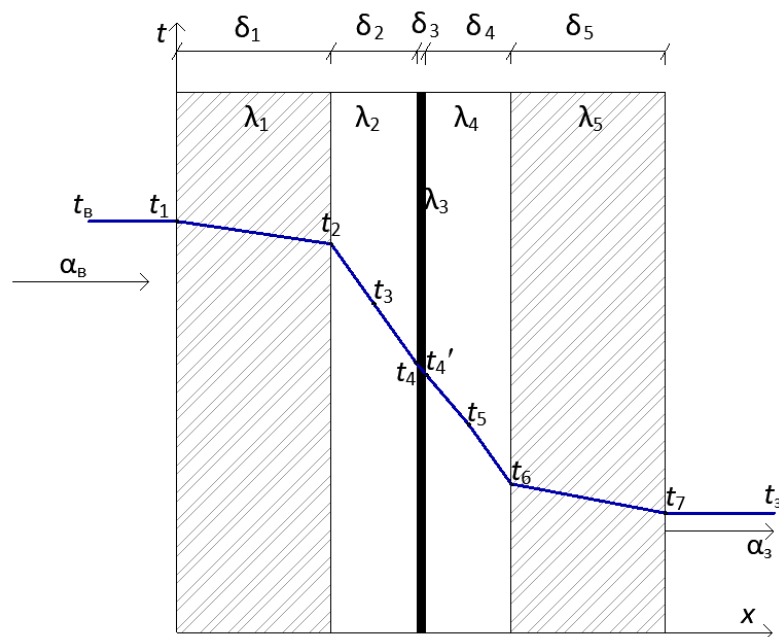


Рис. 2.12 Графік розподілу температури по товщині багатошарової конструкції

Оскільки даний розрахунок не враховує відбивання теплового випромінювання, то графік розподілу температури по товщині багат шарової конструкції мають лінійний вигляд.

2.4 Математичне моделювання, оптимізація параметрів виробу

Для одержання оптимальних параметрів будівельного теплоізоляційного виробу із екранованими повітряними прошарками використовується принцип оптимізації термічного опору будівельного виробу в залежності товщини повітряного прошарку та матеріалу, що оточує його. Задача вибору оптимального рішення складна й актуальна. Розрізняють дві задачі оптимізації:

1. Досягнення поставленої мети (максимальний термічний опір) при мінімальній витраті ресурсів;
2. Одержання найбільшого ефекту (максимальний термічний опір) при заданих ресурсах.

В своїй роботі автор намагається отримати найбільший ефект при заданих ресурсах, тобто отримати максимальний термічний опір конструкції, шляхом вибору оптимальної товщини повітряного прошарку та матеріалу виробу.

Для оптимізації процесу системи необхідний критерій ефективності, яким визначається ступінь досягнення поставленої мети. Він приймає при найбільш вигідних умовах мінімальне чи максимальне значення, що характеризуються термічним опором (R).

R – термічний опір будівельного виробу;

Значення величини термічного опору R є функцією 2-х параметрів:

$$R = f(x_m, \lambda_m), \quad (2.16)$$

де x_m – товщина повітряного прошарку, мм;

λ_m – теплопровідність відповідного матеріалу, МПа;

Вибір діапазонів варіювання факторів функцій (2.16) проводився таким чином, щоб будь-яка їх сукупність в передбачених планом експерименту діапазонах могла бути реалізована і не приводила до протиріч. Для цього було проведено пошукові експерименти для визначення області, в якій необхідні нам сполучення рівнів факторів були б стійко реалізовані.

Всі фактори, які входять в функції (2.16), є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин факторів мають різні порядки. Тому для отримання поверхні відгуку цих функцій було проведено операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [98]. Встановлено наступні значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний -1 , середній 0 , максимальний $+1$ та зіркові значення $-1,682$, $+1,682$.

Істинні значення факторів встановлені на основі проведення пошукових експериментів і наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10

Рівні факторів та інтервали варіювання

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	-1.682	-1	0	+1	+1.682	
x_1 – товщина повітряного прошарку, мм	10	15	20	25	30	5
x_2 – теплопровідність матеріалу виробу, Вт/(м·К)	0,0159	0,05	0,1	0,15	0,1841	0,05

Для проведення повнофакторного експерименту виду 2^3 було складено матриці планування експериментів.

Планувалось отримати наступні регресійні моделі 2-го порядку:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (2.17)$$

де y – функція R ;

$b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ – коефіцієнти регресії.

Для визначення токових оцінок $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ використовувався метод найменших квадратів [80]:

$$B = Y\Phi^{-1}, \quad (2.18)$$

де $B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix}$ - матриця, що містить коефіцієнти регресії;

$\Phi = F^T F$ - інформаційна матриця Фішера;

$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix}$ - матриця, що містить результати експериментів за матрицею

планування (табл. 2-3);

$F = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,k} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{N,1} & \dots & x_{N,k} \end{bmatrix}$ - матриця, що містить значення факторів $x_{i,j}$ (де i -

номер дослідів за матрицею планування, j - номер фактора);

k - кількість факторів;

N - кількість дослідів за матрицею планування (додаток А, Б).

Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера [98]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{vidm}^2} \leq [F(f_1, f_2)], \quad (2.19)$$

де S_{ad} - дисперсія адекватності;

S_{vidm} - дисперсія відтворюваності.

$[F(f_1, f_2)]$ - критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера;

$f_1 = N - d$ - кількість ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_2 = n - 1$ - кількість ступенів вільності дисперсії відтворюваності;

d – кількість значимих коефіцієнтів регресії (2.17);

n – кількість попередніх повторних дослідів, які проведено для середнього (нульового) рівня факторів.

Розрахункове значення критерію F порівнювалося з критичним і при $F > [F(f_1, f_2)]$ регресійна модель вважалася неадекватною.

Дисперсія адекватності визначалася за формулою [98]:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (2.20)$$

де y_i – результат i -го дослідів, проведеною за матрицею планування;

\tilde{y}_i – результат i -го значення дослідів, передбаченого за допомогою регресійної моделі (2.17);

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за t -критерієм Стьюдента [80]:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{\epsilon i \delta m} \sqrt{c_{i,i}}} > [t(f_2)], \quad (2.21)$$

де $[t(f_2)]$ – критичне значення t -критерію Стьюдента, яке рівне значенню розподілу Стьюдента;

$c_{i,i}$ – відповідний елемент матриці Φ^{-1} .

Розрахункове значення критерію t_i порівнювалося з критичним і при $t \leq [t(f_2)]$ i -й коефіцієнт регресії вважався незначним.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Розроблено експериментальну установку, що дозволяє визначати температури на стиках шарів конструкції стіни, яка містить повітряні прошарки, екрановані фольгованим матеріалом.

2. Теоретично отримані за існуючою формулою дані, які показали, що температура на стиках шарів конструкції поширюється лінійно незважаючи на наявність фольгованого екрану всередині повітряних прошарків. Це дозволить виконати порівняння результатів експерименту з результатами теоретичного розрахунку.

3. Для одержання оптимальних параметрів будівельного теплоізоляційного виробу із екранованими повітряними прошарками необхідно провести оптимізацію термічного опору будівельного виробу в залежності товщини повітряного прошарку та матеріалу, що оточує його.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ КРІЗЬ БАГАТОШАРОВУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНУ ПЛИТКУ З ЕКРАНОВАНИМИ НЕВЕНТИЛЬОВАНИМИ ПРОШАРКАМИ ПОВІТРЯ

3.1 Проведення експерименту з конструкцією стіни із гіпсокартону



Конструкція стінки лабораторної установки, зразки якої наведені на рис. 2.4, складалась із шару гіпсокартону товщиною 12 мм, невентильованого повітряного прошарку змінної товщини, та тонкого шару фольги товщиною 0,8 мм. Основні характеристики матеріалів наведені в табл. 2.1.

Для дослідження теплопровідності в конструкції стіни було встановлено 9 термопар, які було позначено T_1 - T_7 , $T_{вн}$, $T_{зовн}$. Для зниження контактного опору між матеріалом стінової конструкції і датчиком приладу використовувалася теплопровідна паста Kill-8. Схема розташування термопар в конструкції наведена в Розділі 2 на рис. 2.5.

Було проведено ряд експериментів зі змінними товщинами повітряного прошарку, що змінювались в діапазоні від 5 до 30 мм.

При виконанні експерименту з використанням гіпсокартонової стінки отримані наступні результати (табл. 3.1).

За результатів проведеного експерименту побудовано графік розподілу температури по товщині багатошарової огорожувальної конструкції та виконано порівняння його з теоретичними розрахунками.

-  – графік розподілу температури за розрахунком
-  – графік розподілу температури за результатами експерименту

Таблиця 3.1

Результати розподілу температури по товщині гіпсокартонової стінки лабораторної установки з повітряним прошарком товщиною 10 мм

№ термодатчика	Екпериментально визначена температура, °C	Розрахункова температура, °C
$t_{\text{вн}}$	57,19	57
t_1	55,31	53,52
t_2	51,13	51,28
t_3	48,64	44,37
t_4	32,56	37,45
t_5	30,86	30,54
t_6	26,1	23,61
t_7	23,8	21,38
$t_{\text{зовн}}$	20	20

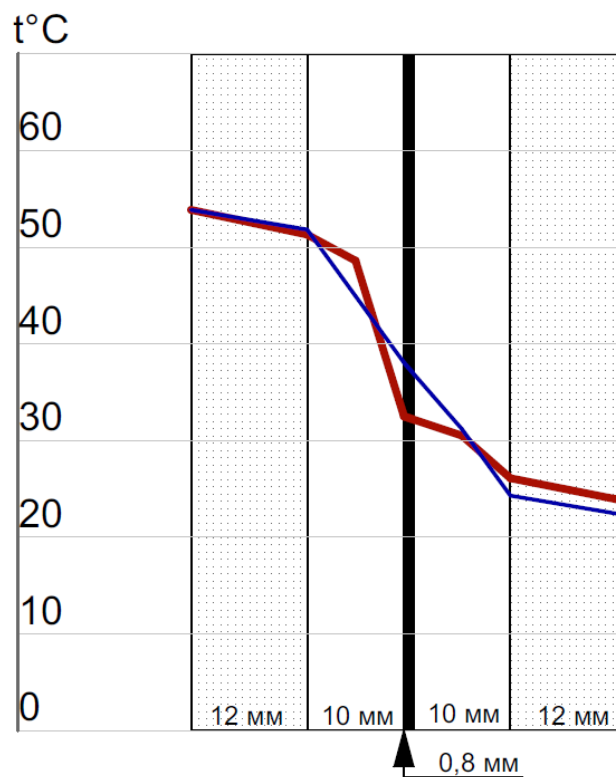


Рис. 3.1 Графік розподілу температури по товщині гіпсокартонової стінки лабораторної установки з повітряним прошарком товщиною 10 мм

Як видно на рис. 3.15, графік, побудований за експериментальними даними в повітряних прошарках відхиляється від теоретичних даних. Це явище спостерігається лише в повітряних прошарках і не залежить від матеріалу стінки лабораторної установки.

В повітряному прошарку № 1 експериментально визначена температура t_3 перевищує теоретичну, а температура на поверхні фольги t_4 нижча за теоретичну, це свідчить про відбивання частини теплового потоку і подальше нагрівання прошарку перед фольгою. В повітряному прошарку № 2, який розташований після прошарку фольги експериментально визначена температура t_6 наближається до теоретичної.

Температурні скачки спостерігаються при товщині повітряного прошарку 10 та 15 мм. При збільшенні товщини повітряних прошарків графік теплового потоку згладжується, що свідчить про менший ефект відбивання і виникнення конвективної теплопередачі в повітряному прошарку.

3.2 Розрахунок конвективної і випромінювальної складової теплопередачі через замкнуті повітряні прошарки при використанні експериментальних даних

В даному випадку передача тепла здійснювалася шляхом теплопровідності і конвекції (λ_k), випромінюванням (λ_l), а через матеріал екранів і дистанційних прокладок – шляхом теплопровідності матеріалу (λ_m). Величина теплопровідності матеріалу λ_m визначалася експериментальним шляхом.

Для опису процесу теплопередачі через замкнуті повітряні прошарки в конструкціях також використовується поняття еквівалентного коефіцієнта теплопровідності:

$$\lambda_e = \lambda_m + \alpha_l \delta, \quad (3.1)$$

де λ_m – значення коефіцієнта теплопровідності повітря, Вт/(м·К)

– поправочний коефіцієнт теплопередачі за рахунок конвекції

δ – товщина повітряного прошарку

$\alpha_{л}$ – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням, Вт/(м²К).

Значення коефіцієнта ϵ_k можна отримати, використовуючи рівняння 2.10:

$$\epsilon_k = 0,105 \left(\frac{g \delta^3 \left(\frac{1}{0,5(\tau_1 + \tau_2) + 273} \right) (\tau_1 - \tau_2)}{v^2} Pr \right)^{0,3},$$

де g – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с²;

v – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $1,36 \cdot 10^{-5}$ м²/с;

δ – визначає розмір повітряного прошарку, 0,01 м;

Pr – критерій Прандтля, 0,701 [25];

τ_1 і τ_2 – становлять відповідно табл. 3.1 51,13 °С та 32,56°С.

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням визначається з виразу 2.11:

$$\alpha_{л} = C_0 \frac{\left[\left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right]}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) (\tau_1 - \tau_2)},$$

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, 5,67 Вт/(м²·К⁴);

ϵ_1, ϵ_2 – ступінь чорноти внутрішніх поверхонь прошарку.

$$\alpha_{л} = 5,67 \frac{\left[\left(\frac{51,13 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{32,56 + 273}{100} \right)^4 \right]}{\left(\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,04} - 1 \right) (51,13 - 32,56)}$$

$$\alpha_{л} = 0,259$$

Отже,

$$\lambda_e = 0,024 \times 0,057 + 0,259 \times 0,01,$$

$$\lambda_e = 0,016 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

У таблиці 3.2 виконано розрахунок еквівалентного коефіцієнта теплопровідності відповідно до температур експериментальних результатів розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки.

Таблиця 3.2

Розрахунок еквівалентного коефіцієнта теплопровідності

δ повітря	Експериментально визначена температура, °С	Розрахункова температура, °С
1	2	3
Гіпсокартон $\delta=12$ мм, $\lambda=0,15$ Вт/(м·К)		
10	0,0162	0,0169
15	0,0241	0,0246
20	0,0314	0,0332
25	0,039	0,0396
30	0,0392	0,0398
ДСП $\delta= 18$ мм, $\lambda=0,2$ Вт/(м·К)		
10	0,0165	0,0168
15	0,0246	0,0247
20	0,031	0,032
25	0,039	0,038
30	0,046	0,045
Скло $\delta= 4$ мм, $\lambda=1,15$ Вт/(м·К)		
10	0,0165	0,0168
15	0,023	0,024
20	0,031	0,032
25	0,037	0,037
30	0,044	0,045
Полікарбонат $\delta=4$ мм, $\lambda=0,026$ Вт/(м·К)		
10	0,0166	0,0169
15	0,024	0,025
20	0,031	0,033
25	0,038	0,041
30	0,045	0,048
Екструдований пінополістирол $\delta=20$ мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К)		
10	0,016	0,0163
15	0,023	0,024

Продовження таблиці 3.2		
1	2	3
20	0,03	0,031
25	0,037	0,038
30	0,043	0,045

Відповідно до розрахунку найменший еквівалентний коефіцієнт теплопровідності замкнутих повітряних прошарків відбувається при товщині прошарку 10 мм.

3.3 Обробка результатів експерименту проходження теплового потоку крізь багат шарову багат шарову теплоізоляційну плитку

Для визначення теплопровідності повітряного прошарку перед та за фольгованим екраном застосовуємо метод Христіансена.

Метод Христіансена ґрунтується на використанні еталонного (зразкового) матеріалу, для якого коефіцієнт теплопровідності відомий заздалегідь [104]. Зразки досліджуваного 1 та еталонного 2 матеріалів – це пластини товщиною відповідно d_x і d_{et} , які щільно прилягають одна до одної.

У стаціонарному стані розподіл температур у досліджуваному та еталонному матеріалах – лінійний і сталий, теплові потоки – однакові. Тому

$$\lambda_x \frac{\Delta T_x}{d_x} = \lambda_{et} \frac{\Delta T_{et}}{d_{et}}, \quad (3.2)$$

де λ_x і λ_{et} – коефіцієнти теплопровідності досліджуваного та еталонного матеріалів; $\Delta T_x/d_x$ і $\Delta T_{et}/d_{et}$ – градієнти температур цих матеріалів.

У формулі (3.1) тепловтрати через бічні поверхні матеріалів не враховують (ними нехтують). Це доцільно, коли товщини пластин матеріалів порівняно з їхніми діаметрами малі (відношення товщин до діаметра диска 1:30) або при використанні запобіжних термостатів у вигляді кілець, через які пропускається вода при температурах нагрівача і холодильника. Для кращого вирівнювання

температури внутрішній об'єм термостатів оснащують спеціальними перегородками [104].

$$\frac{\lambda_{et}}{h_{et}}(T_1 - T_2) = \frac{\lambda_x}{h_x}(T_2 - T_3) \quad (3.3)$$

де h_{et} і h_x – товщини пластин.

Звідки остаточною формулою для визначення невідомого коефіцієнту теплопровідності досліджуваної речовини має вигляд:

$$\lambda_x = \lambda_{et} \frac{h_x (T_1 - T_2)}{h_{et} (T_2 - T_3)} \quad (3.4)$$

Для визначення λ потрібно виміряти товщину еталонного і досліджуваного матеріалів h_{et} і h_x . Для цього пропускають воду заданої температури через термостати до встановлення певної сталої різниці температур. За формулою (3.3) розраховують коефіцієнт теплопровідності, який відносять до середньої температури досліджуваного матеріалу [104].

Результат обрахунків теплопровідності повітря в прошарку до та після фольгованого екрану наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3

Результат обрахунків теплопровідності повітря в прошарку до та після фольгованого екрану

δ повітря	Прошарок перед фольгою	Прошарок після фольги
1	2	3
Гпсокартон δ=12 мм, λ=0,17 Вт/(м·К)		
10	0,016	0,028
15	0,021	0,0338
20	0,03	0,038
25	0,035	0,043
30	0,041	0,045
ДСП δ= 18 мм, λ=0,2 Вт/(м·К)		
10	0,017	0,02

Продовження таблиці 3.3		
1	2	3
15	0,023	0,029
20	0,032	0,038
25	0,035	0,04
30	0,042	0,045
Скло $\delta=4$ мм, $\lambda=1,15$ Вт/(м·К)		
10	0,0175	0,0195
15	0,022	0,023
20	0,033	0,042
25	0,039	0,049
30	0,042	0,054
Полікарбонат $\delta=4$ мм, $\lambda=0,026$ Вт/(м·К)		
10	0,017	0,018
15	0,020	0,023
20	0,024	0,025
25	0,032	0,034
30	0,036	0,041
Екструдований пінополістирол $\delta=20$ мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К)		
10	0,0173	0,019
15	0,024	0,028
20	0,032	0,037
25	0,038	0,044
30	0,043	0,049

Результат обробки експерименту показав, що теплопровідність повітряного прошарку перед фольгованим матеріалом менша ніж теплопровідність прошарку, розташованого після фольгованого матеріалу.

3.4 Конструювання і теплотехнічні випробування експериментального зразка

На основі виконаної експериментальної частини було виконано дослідні зразки (рис.3.2, рис 3.3), які мають багатошарову конструкцію із замкнутими прошарками повітря, екранованими фольгованим матеріалом.

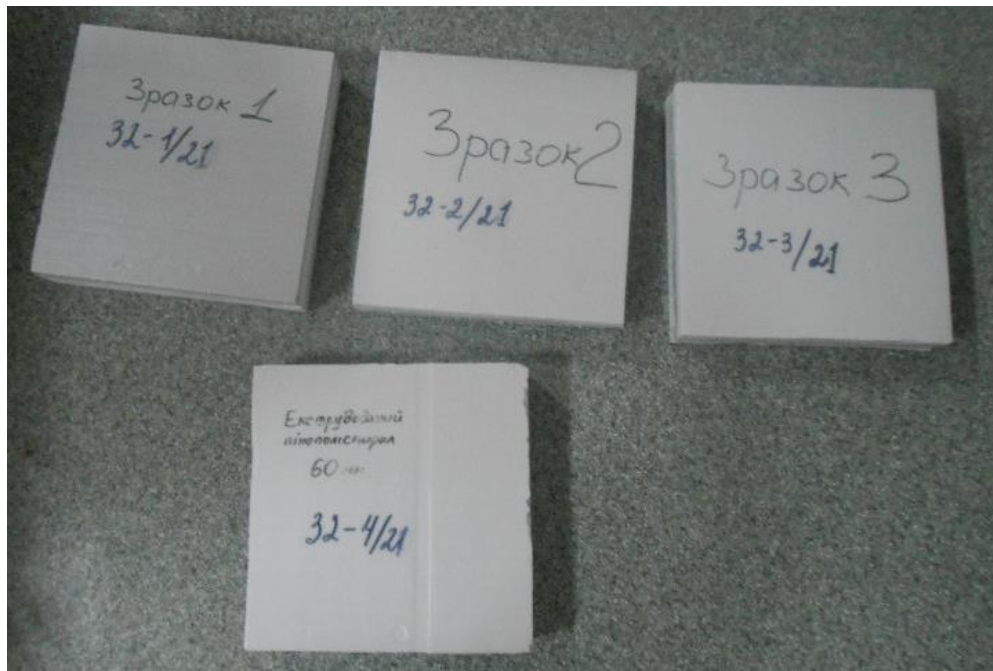


Рис. 3.2 Загальний вигляд дослідних зразків № 32/20

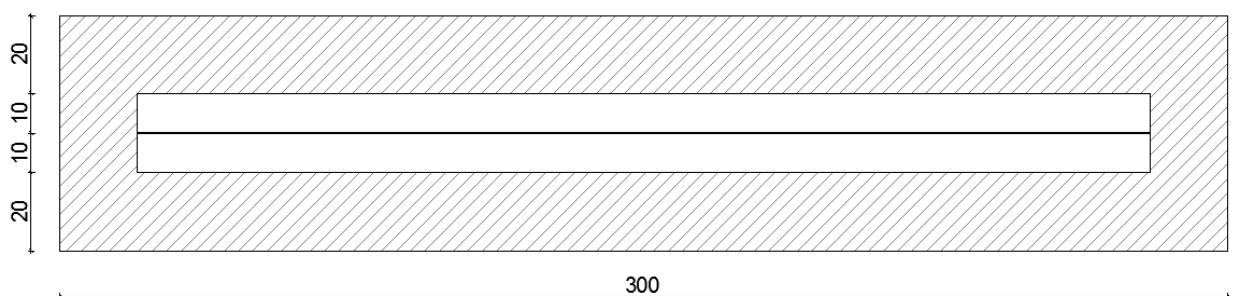


Рис. 3.3 Вигляд дослідного зразка у розрізі

Для каркасу виробу було обрано екстудований пінополістирол (табл. 2.6) та полімерпіщану плитку (табл. 2.5), в якості екрану встановлено фольгований крафтпапір (табл. 2.7) та фольгований спінений поліетилен – ізолон (табл.2.8).

Пошарово всі зразки наведено в табл. 3.4

Таблиця 3.4

Зразки теплоізоляційної плитки із невентильованими повітряними
прошарками, екранованими фольгованим матеріалом

	Шар 1	Шар 2	Шар 3	Шар 4	Шар 5
	1	2	3	4	5
Зразок 1-3	Екструдований пінополістирол $\delta=20$ мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К)	Замкнутий повітряний прошарок $\delta=10$ мм, $\lambda=0,016$ Вт/(м·К)	Фольгований крафтпапір Фольгований крафтпапір $\delta=0,13$ мм, $\lambda=0,04$ Вт/(м·К)	Замкнутий повітряний прошарок $\delta=10$ мм, $\lambda=0,016$ Вт/(м·К)	Екструдований пінополістирол $\delta=20$ мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К)
Зразок 4	Екструдований пінополістирол $\delta=60$ мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К)				
Зразок 5	Екструдований пінополістирол $\delta=20$ мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К)	Замкнутий повітряний прошарок $\delta=10$ мм, $\lambda=0,016$ Вт/(м·К)	Ізолон Фольгований крафтпапір $\delta=10$ мм, $\lambda=0,034$ Вт/(м·К)	Екструдований пінополістирол $\delta=20$ мм, $\lambda=0,036$ Вт/(м·К)	—
Зразок 6	Полімерпіщана плитка $\delta=17$ мм, $\lambda=0,15$ Вт/(м·К)	Замкнутий повітряний прошарок $\delta=10$ мм, $\lambda=0,016$ Вт/(м·К)	Фольгований крафтпапір $\delta=0,13$ мм, $\lambda=0,04$ Вт/(м·К)	Замкнутий повітряний прошарок $\delta=10$ мм, $\lambda=0,016$ Вт/(м·К)	Полімерпіщана плитка $\delta=17$ мм, $\lambda=0,15$ Вт/(м·К)

Випробування проведено у Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), відповідно до державних стандартів України (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Перелік нормативних документів

Позначення нормативних документів	Назви нормативних документів
ДБН В.2.6-31:2016	Теплова ізоляція будівель
ДСТУ Б В.2.7-182: 2009	Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності

	будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах
ДСТУ Б В.2.7-38-95	Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань
ДСТУ 4179-2003	Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-105-2000	Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.
ДСТУ EN 13190:2018 (EN 13190:2001, IDT)	Термометры со шкалой
ДСТУ EN 45501:2007	Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.
ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)	Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики)

Тип та основні характеристики обладнання: перелік обладнання наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Тип і характеристики випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки

Назва випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки	Заводський номер	Номер свідоцтва
Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів IT-7C згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000, точність 3%	04	UA/01№1135
Гігрометр психрометричний ВІТ-1	Д816	UA/24/200720/ 3470
Барометр-анероїд БАММ-1	101518	UA/39/200203/0149
Неавтоматичний зважувальний прилад Днепровес	74	UA/35/200123/7223
Рулетка вимірювальна металева	1	UA/23/200206/000265
Камера для теплової обробки НРС-222	3585060	UA/24/200618/2919
Штангенциркуль, ШЦ-I згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009	078538	UA/200903/002437

Загальний вигляд випробувальної установки для визначення теплопровідності будівельних матеріалів ІТ-7С наведено на рис. 3.4.

Умови проведення випробувань:

$$t_{\text{в}} = +(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi = (55 \pm 5) \%, P = 97,1-101,7 \text{ кПа.}$$

де $t_{\text{в}}$ – температура внутрішнього повітря в приміщенні, φ – вологість повітря в приміщенні, P – атмосферний тиск повітря в приміщенні.



Рис. 3.4 Загальний вигляд випробувальної установки під час дослідження

Результати випробувань термічного опору в горизонтальному положенні наведено у табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Результати випробувань термічного опору

№ зразка	Густина випробувальних зразків, кг/м ³	Середня густина випробувальних зразків, кг/м ³	Середня температура зразків при випробуванні	Термічний опір, м ² К/Вт	Середнє значення термічного опору м ² К/Вт,
32-1/20 (Зразок 1)	25,99	26,61	+25 °С	1,869	1,83
32-2/20 (Зразок 2)	26,49			1,801	
32-3/20 (Зразок 3)	27,34			1,829	
32-4/20 (Зразок 4)	27,28	27,28	+25 °С	1,66	-
Зразок 5			+25 °С	1,58	-
Зразок 6			+25 °С	0,96	

Термічний опір замкнутих повітряних прошарків товщиною по 10 мм в кількості 2 шт. при горизонтальному розташуванні та встановленні між ними алюмінієвої фольги становить $R = 0,71 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

3.5 Тепловізійні дослідження полімерпіщаних плит із двома замкнутими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом

Наявність у полі зору реєстрованого теплового контрасту дозволяє візуалізувати на моніторі напівтонові чорно-білі, або адекватні їм «псевдокольорові» тепловізійні зображення. Ті об'єкти, які випромінюють тепло, мають на дисплеї приладу жовто-оранжево-червоні кольори, а всі холодні об'єкти майже невиразні. Спектральний діапазон, в якому працюють тепловізори, визначається інтервалами довжин хвиль в області максимуму енергії випромінення об'єктів спостереження в відповідних параметрах прозорості атмосфери. Зазвичай це інтервали довжин хвиль від 3,5 до 5,5 мкм

або від 8 до 13,5 мкм. Сучасні тепловізори дозволяють виявити об'єкти, які мають температурні контрасти до десятих і навіть до сотих долей градусів, і формують зображення високої якості.

Принцип дії даного пристрою заснований на безконтактному вимірюванні потужності теплового випромінювання об'єкту в діапазонах інфрачервоного випромінювання і видимого світла. Діапазон вимірювальної температури $-60\text{--}330^{\circ}\text{C}$, що є достатнім для експериментальних досліджень у даній роботі. Для вимірювань використано інфрачервоний тепловізор НТ-А2 (рис. 2.8, табл. 2.9 Розділу 2).

Для обстеження виготовлено зразки з полімерпіщаної плитки (табл. 2.5 [91]) з такими прошарками:

Зразок 6/1:

- Полімерпіщана плитка $\delta = 20$ мм;
- Прошарок ізолону $\delta = 10$ мм (табл. 2.8 [84]);
- Прошарок повітря $\delta = 10$ мм;
- Полімерпіщана плитка $\delta = 20$ мм;

Зразок 6/12:

- Полімерпіщана плитка $\delta = 20$ мм;
- Прошарок повітря $\delta = 10$ мм;
- Прошарок фольгованого крафтпаперу $\delta = 0,13$ мм (табл. 2.7 [92]);
- Прошарок повітря $\delta = 10$ мм;
- Полімерпіщана плитка $\delta = 20$ мм;

Температура всередині лабораторної установки (розділ 2.1.1, рис. 2.4-2.6) нагніталась до 74°C . Коли температура на поверхні плитки стала стабільною, було проведено тепловізійну зйомку плитки та повторну зйомку внутрішнього прошарку. Поруч для порівняння встановлено пластину гіпсокартону товщиною $\delta = 12$ мм, $\lambda = 0,15$ Вт/(м·К). Результати вимірювань наведено на рис. 3.5 – зразок 6/1 та рис. 3.6 – зразок 6/2.

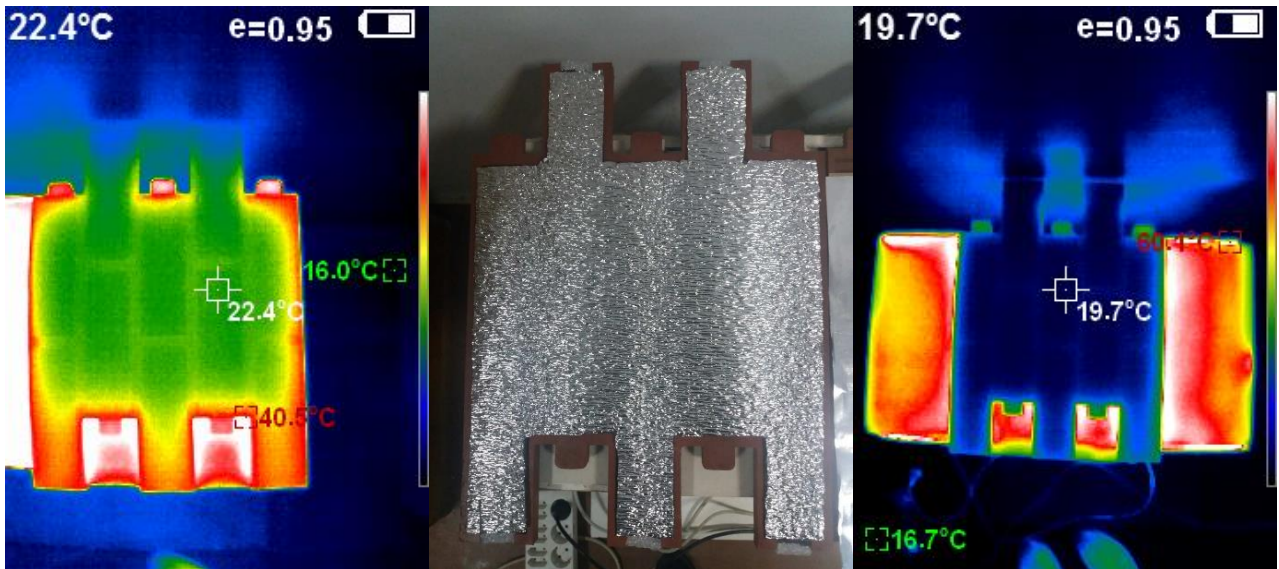


Рис. 3.5 Результат тепловізійної зйомки зразка 6/1

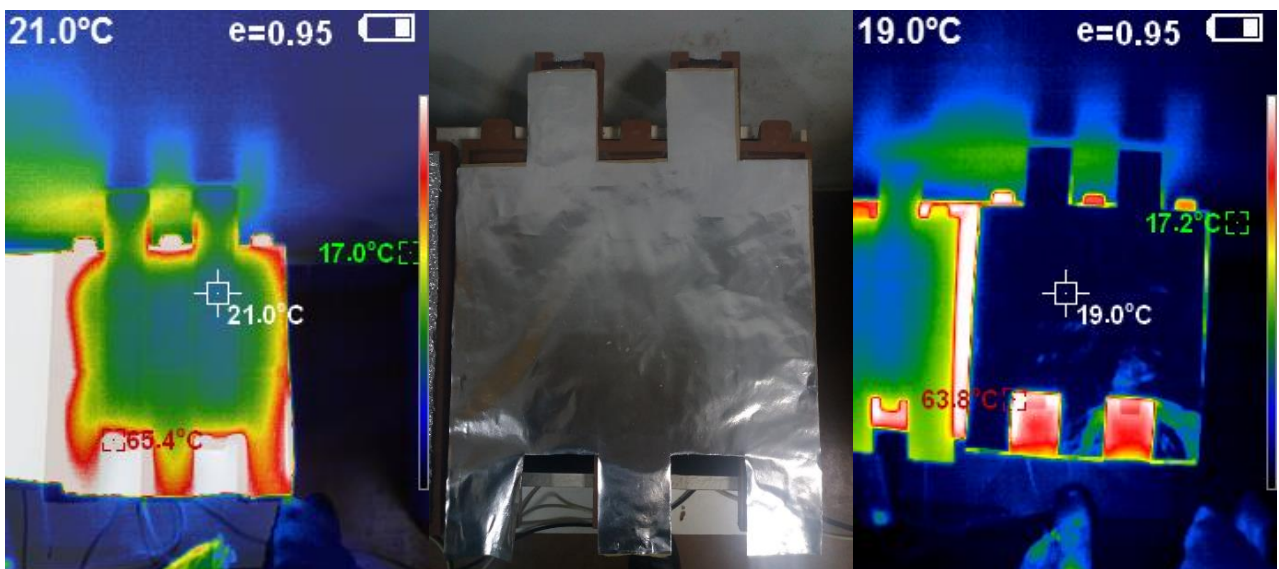


Рис. 3.6 Результат тепловізійної зйомки зразка 6/1

У стаціонарному стані розподіл температур у досліджуваному та еталонному матеріалах – лінійний і сталий, теплові потоки – однакові [63]:

$$, \quad (3.4)$$

$$, \quad (3.5)$$

де δ_1 і δ_2 – товщина шару гіпсокартону і плитки відповідно,

λ_1 і λ_2 – теплопровідність гіпсокартону і плитки відповідно,

t_1 і t_2 – температура на поверхні гіпсокартону і плитки відповідно.

Як видно з рис. 3.5-3.6, коли температура всередині лабораторної установки була встановлена на рівні 74 °С, температура на поверхні виробу 6/1

була $22,4^{\circ}\text{C}$, температура на поверхні ізолону товщиною 10 мм дорівнювалася $19,7^{\circ}\text{C}$, на поверхні гіпсокартону – $60,7^{\circ}\text{C}$, на виробі 6/2 – 21°C , а на поверхні фольгованого паперу – $19,0^{\circ}\text{C}$, на поверхні гіпсокартону – $63,8^{\circ}\text{C}$.

Якщо розрахована величина щільності теплового потоку для всіх шарів однакова, то можна розрахувати коефіцієнт теплопровідності плитки 6/1 та 6/2, який становить $0,618 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ і $0,613 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ відповідно, що менше ніж теплопровідність цільної полімерпіщаної плити, яка становить $0,85 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

3.6 Визначення фізико-механічних характеристик дослідних зразків теплоізоляційного виробу

Екструдований пінополістирол має набагато більш високу міцність на стиск, ніж пінопласт. Висока міцність екструдованого пінополістиролу є його головною перевагою і дозволяє його використовувати не тільки як утеплювач, але і як будівельний матеріал, що виконує іноді навіть функції допоміжних або несучих конструкцій.

Екструдований пінополістирол в порівнянні з гранульованим пінополістиролом пошкоджується гризунами в набагато меншому ступені.

Нормативні значення теплотехнічних показників зовнішніх стін забезпечуються за рахунок застосування теплоізоляційних виробів. В якості теплоізоляції зовнішніх стін розглянуті пінополістирольні дрібно розмірні плитки з двома невентильованими прошарками, розділеними фольгованим матеріалом згідно з ДСТУ Б В.2.7-8 [91] та/або плити мінераловатні на синтетичному в'язучому згідно з ДСТУ Б В.2.7-167 [70], а також ДСТУ Б В.2.7-139:2007 «Будівельні матеріали. Черепиця полімерпіщана» [91]. Фізико-технічні показники полімерпіщаної черепиці, передбачені цим стандартом, знаходяться на рівні відповідних показників призначення керамічної та бетонної черепиці і перевищують вимоги EN 1304:1998, зокрема, за руйнівним навантаженням. Досвід вітчизняних виробників підтверджує можливість включення до стандарту вимог до руйнівного навантаження на рівні не менше 1,5 кН.

Випробування з визначення межі міцності при стиску здійснювали за допомогою гідравлічного пресу ПСУ-125 (рис. 3.6). Формула, яку використовували для розрахунку межі міцності на розтяг при згині:

$$R_{ст} = P_{руйн} / F, \quad (3.6)$$

де $P_{руйн}$ – руйнівне навантаження, кгс;

F – площа поперечного перерізу зразка, см².



Рис. 3.6 Гідравлічний прес ПСУ-125 для визначення міцності при вигині
Результати представлені в табл. 3.3

Таблиця 3.3

Результати випробувань з визначення міцності на стиск

№ зразка	Розміри зразку, см			Руйнівне навантаження, Р, кгс, середнє за 5 зразками	Межа міцності на стиск, $R_{ст}$, (МПа)
	ширина, b	висота, h	довжина, L		
32-1/20 (Зразок 1)	30	6	30	1625	0,18
32-2/20 (Зразок 2)	30	6	30	1650	0,183
32-3/20 (Зразок 3)	30	6	30	1675	0,186
32-4/20 (Зразок 4)	30	6	30	1680	0,187
Зразок 5	30	6	30	1650	0,183
Зразок 6	33	5,4	33	22950	25,5

Виіпробування міцності на стик показали, що всі зразки мають достатню межу міцності, що відповідає ДСТУ Б В.2.7-8 [91] та ДСТУ Б В.2.7-139:2007 [91].

Виіпробування з визначення межі міцності при вигині здійснювали за допомогою гідравлічного пресу ПСУ-125 (рис. 3.6), де руйнівне навантаження фіксувалося на шкалі пресу у кгс. Формула, яку використовували для розрахунку межі міцності на розтяг при згині:

$$R_{\text{виг}} = 3 \cdot P \cdot L / 2 \cdot b \cdot h^2, \quad (3.7)$$

де P – руйнівне навантаження, кгс;

b і h – ширина і висота зразка в см відповідно;

L – відстань між опорами, що дорівнює 10 см.

Результати виіпробувань представлені в табл. 3.3

Таблиця 3.3

Результати виіпробувань з визначення міцності на розтяг при згині

№ зразка	Розміри зразку, см			Руйнівне навантаження, P , кгс, середнє за 5 зразками	Межа міцності при вигині, $R_{\text{виг}}$, (МПа)
	ширина, b	висота, h	довжина, L		
32-1/20 (Зразок 1)	30	6	30	187,5	0,52
32-2/20 (Зразок 2)	30	6	30	183,5	0,51
32-3/20 (Зразок 3)	30	6	30	190	0,53
32-4/20 (Зразок 4)	30	6	30	192	0,53
Зразок 5	30	6	30	185	0,51
Зразок 6	33	5	33	4205	15,3

Виіпробування міцності на згин показали, що всі зразки мають достатню межу міцності, що відповідає ДСТУ Б В.2.7-8 [91] та ДСТУ Б В.2.7-139:2007 [91].

Ударну стійкість (опір удару) огорожувальної конструкції, утепленої фасадною плиткою, визначають після завершення робіт і досягнення захисно-

декоративним шаром проектної міцності. Випробування виконують одноразовим ударом в 10 довільно вибраних місцях змонтованої збірної системи. Відстань між місцями випробувань повинна бути не менше ніж 1 м.

Енергія удару повинна бути не менше 5 Дж. Енергію удару передають через сталевий бойок, маса якого забезпечує потрібну енергію. Для випробування використовують пристрій (рис. 3.7), що дозволяє неруйнівними методами визначити стійкість системи до удару.

Ударну стійкість визнають задовільною, якщо в жодному з місць випробувань не спостерігається руйнувань, тріщин, відколів покриття [109].

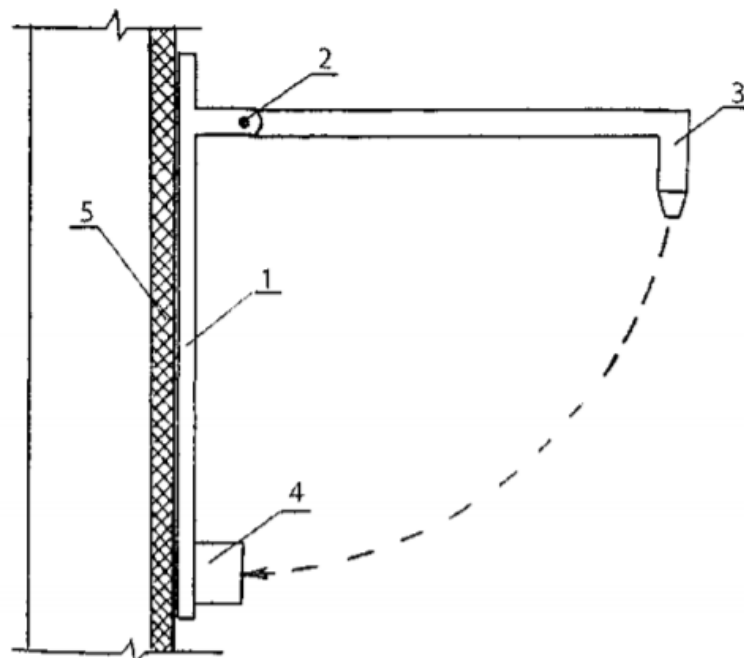
$$R_{y\delta} = A/S, \quad (3.8)$$

$$A = F(H-h). \quad (3.9)$$

де F – вага маятника, кг;

H і h – початкова і кінцева висота підйому маятника, м;

S – площа поперечного перерізу зразка, м².



1 – плоска опора; 2 – шарнір; 3 – бойок; 4 – вузол, що передає енергію удару бойка на збірну систему; 5 – захисний шар збірної системи

Рис. 3.7 Схема пристрою для визначення міцності збірної системи при ударі

Результати випробувань представлені в табл. 3.4

Таблиця 3.4

Результати випробувань з визначення опору удару

№ зразка	Розміри маятника			Площа поперечного перерізу зразка, м ²	Межа міцності при вигині, R _{уд} , Дж
	Вага маятника F, кг	Початкова висота підйому маятника, H, м	Кінцева висота підйому маятника, h, м		
32-1/20 (Зразок 1)	2	0,32	0,06	1	5,8
32-2/20 (Зразок 2)	2	0,34	0,06	1	5,6
32-3/20 (Зразок 3)	2	0,32	0,06	1	5,8
32-4/20 (Зразок 4)	2	0,4	0,06	1	6,8
Зразок 5	2	0,35	0,06	1	5,8
Зразок 6	2	1,73	0,06	1	34,7

Випробування ударної міцності показали, що всі зразки мають достатню межу міцності, що відповідає ДСТУ Б В.2.7-8 [91] та ДСТУ Б В.2.7-139:2007 [91].

Водопоглинення розраховувалось за формулами:

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

Де W_m – водопоглинення за масою, %;

m_1 – маса сухого зразка, г;

m_2 – маса насиченого водою зразка, г;

$$W_v = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

Де W_v – водопоглинення за об'ємом, %;

m_1 – маса сухого зразка, г;

m_2 – маса насиченого водою зразка, г;

V – об'єм зразка, см³.

Результати дослідження представлені як середні значення W_m і W_v кожної серії зразків у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Результати досліджень водопоглинення теплоізоляційного виробу

№ зразка	Маса зразка, г, у стані:		Об'єм зразку, V , cm^3	Водопоглинення, %	
	сухому, m_1	водонасиченому, m_2		за масою, W_m	за об'ємом, W_v
32-1/20 (Зразок 1)	149	177,62	5400	19	0,53
32-2/20 (Зразок 2)	143	169,5	5400	18,9	0,49
32-3/20 (Зразок 3)	144	169,9	5400	17,9	0,48
32-4/20 (Зразок 4)	145	168,8	5400	16,4	0,44
Зразок 5	144	171,5	5400	19,1	0,51
Зразок 6	4410	4498,2	5880	1,8	0,15

Випробування водопоглинання теплоізоляційних виробів показали, що показники зрізків теплоізоляційних виробів з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом знаходяться в межах допустимих значень і відповідають стандартам ДСТУ Б В.2.7-8 [82] та ДСТУ Б ДСТУ Б ГОСТ 16381:2011 [20].

Стійкість системи до кліматичних факторів, циклів, морозостійкість зразків визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-42 [110] на зразках розміром $300 \times 300 \times 60$ мм. Зразки насичували водою до сталої маси і поміщали в холодильну камеру, де піддавали заморожуванню при температурі $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 4 годин. Після цього зразки розморожуювали у воді при кімнатній температурі протягом 4 год.

Після відтавання проведено оглід зразків під збільшуваним склом. Дефектів, тріщин та інших пошкоджень виявлено не було, тому цикл заморозки і відтавання проводили до зниження міцності зразків понад 25%. Результати випробувань наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Результати досліджень морозостійкості теплоізоляційного виробу

№ зразка	Міцність зразків, МПа			Зниження міцності, %
	10	20	30	
32-1/20 (Зразок 1)	0,171	0,158	0,149	17
32-2/20 (Зразок 2)	0,174	0,161	0,152	15
32-3/20 (Зразок 3)	0,177	0,164	0,154	15
32-4/20 (Зразок 4)	0,178	0,165	0,155	16
Зразок 5	0,174	0,161	0,152	14
Зразок 6	24,225	22,440	21,165	12

Номер партії відповідає контрольним вимірюванням кожні 10 циклів. За результатами таблиці 3.6 можна зробити висновок, що морозостійкість зразків покриття становить не менше 30 циклів

Масу 1 м² збірної системи (визначають на двох фрагментах завдовжки (300±2) мм і завширшки (300±2) мм, товщина яких має відповідати проектній документації. Зразки виготовлено з матеріалів системи і зважено після витримування протягом 28 діб за температури (20±2) °С і вологості повітря (60±5) %. Зважено зразки на вагах з урахуванням вимог ДСТУ Б В.2.7-38.

Таблиця 3.7

Маса 1м² збірної системи без вирівнювального шару

№ зразка	Густина випробувальних зразків, кг/м ³	Середня густина випробувальних зразків, кг/м ³	Вага вигобу, кг		Маса 1м ² збірної системи без вирівнювального шару, кг
32-1/20 (Зразок 1)	25,99	26,61	0,149	145,3	3,2
32-2/20 (Зразок 2)	26,49		0,143		
32-3/20 (Зразок 3)	27,34		0,144		
32-4/20 (Зразок 4)	27,28	27,28	0,145		3,2
Зразок 5	27,34	27,34	0,144		3,2
Зразок 6	745,8	745,8	4,4		48,8

Маса 1м² утеплення з полімерпіщаної плитки (зразок 6) перевищує нормативні показники ДСТУ Б.2.6-36:20 [70]

3.7 Результати випробувань зразків теплоізоляційного виробу та значення цих показників за нормативними вимогами

Значення випробувань зразків теплоізоляційного виробу за середніми показниками та за вимогами ДСТУ Б.2.6-36:20 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови» [70] подано у табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Результати випробувань зразків теплоізоляційного виробу та значення цих показників за нормативними вимогами

Показник	Результати випробувань за зразком №1	Результати випробувань за зразком № 6	ДСТУ Б.2.6 -36:20	
Термічний опір, м ² К/Вт	1,83	0,96	Не менше значень, встановлених ДБН В.2.6-31	
Ударна міцність, Дж	5,8	34,7	5 (стіни 1-го поверху) 3 (стіни вище 1-го поверху); При цьому не повинно бути тріщин і відколів на захисно-опоряджувальному шарі	10 (цоколі)
Міцність на стиск, МПа	0,18	17,3	0,08÷0,1	
Міцність на згин, МПа	0,52	10,4	0,08÷0,1	
Водопоглинання, %	0,53	0,28	0,2	
Морозостійкість	Більше 30 циклів	Більше 30 циклів	75 – для цоколів; 50 – для стін	
Маса 1 м ² , кг	3,2	48,8	25	

3.8 Моделювання дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі

Моделювання дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу передбачає побудову лінійних моделей його залежності від сукупності вхідних факторів кожного його структурного блоку. Таким чином, з метою визначення залежності структурних елементів економічного потенціалу від факторних ознак було використано лінійну модель багатфакторної регресії, яка має узагальнений вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6, \quad (3.10)$$

де y – показник результативності технологічних інновацій, коеф.;

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ – фактори, що впливають на результативний показник (це відповідно данні з таблиці);

a_0 – постійний показник, який не залежить від впливу факторів;

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ – коефіцієнти багатфакторної регресії.

Слід зазначити, що кожна побудована модель повинна бути статистично значущою та адекватною, а інакше її використання в подальшому дослідженні буде необґрунтованим, а результати – незначними.

Визначимо вектор оцінок коефіцієнтів в регресії. Згідно методу найменших квадратів, вектор $Y(x)$ отримаємо за формулою:

$$Y(x) = (X^T X)^{-1} \cdot (X^T Y)$$

Матриця X

$$X = \begin{bmatrix} 1,00 & 63,80 & 66,00 & 51,80 & 50,40 & 32,00 & 22,50 & 21,70 \\ 1,00 & 59,30 & 61,30 & 52,10 & 51,00 & 32,40 & 22,80 & 21,30 \\ 1,00 & 57,30 & 59,30 & 51,90 & 50,30 & 32,70 & 23,00 & 21,50 \\ 1,00 & 55,30 & 57,40 & 51,20 & 50,30 & 32,90 & 23,30 & 21,50 \\ 1,00 & 66,40 & 68,10 & 50,70 & 49,50 & 33,10 & 23,70 & 21,40 \\ 1,00 & 58,50 & 60,50 & 50,60 & 49,60 & 33,20 & 24,00 & 21,50 \\ 1,00 & 56,60 & 58,70 & 50,60 & 49,80 & 33,30 & 24,00 & 21,50 \\ 1,00 & 55,20 & 57,20 & 50,60 & 49,60 & 33,50 & 24,00 & 21,50 \\ 1,00 & 67,10 & 68,30 & 50,60 & 49,30 & 33,60 & 24,00 & 21,50 \\ 1,00 & 59,00 & 60,80 & 49,90 & 49,10 & 33,50 & 24,10 & 21,50 \\ 1,00 & 56,90 & 58,10 & 49,90 & 49,10 & 33,60 & 24,10 & 21,50 \end{bmatrix}$$

$$\text{Матриця } Y^Y = \begin{bmatrix} 26,90 \\ 27,30 \\ 27,60 \\ 27,90 \\ 28,10 \\ 28,20 \\ 28,40 \\ 28,50 \\ 28,50 \\ 28,60 \\ 28,70 \end{bmatrix}$$

Матриця X^T

$$X^T = \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 63,80 & 59,30 & 57,30 & 55,30 & 66,40 & 58,50 & 56,60 & 55,20 & 67,10 & 59,00 & 56,90 \\ 66,00 & 61,30 & 59,30 & 57,40 & 68,10 & 60,50 & 58,70 & 57,20 & 68,30 & 60,80 & 58,10 \\ 51,80 & 52,10 & 51,90 & 51,20 & 50,70 & 50,60 & 50,60 & 50,60 & 50,60 & 49,90 & 49,90 \\ 50,40 & 51,00 & 50,30 & 50,30 & 49,50 & 49,60 & 49,80 & 49,60 & 49,30 & 49,10 & 49,10 \\ 32,00 & 32,40 & 32,70 & 32,90 & 33,10 & 33,20 & 33,30 & 33,50 & 33,60 & 33,50 & 33,60 \\ 22,50 & 22,80 & 23,00 & 23,30 & 23,70 & 24,00 & 24,00 & 24,00 & 24,00 & 24,10 & 24,10 \\ 21,70 & 21,30 & 21,50 & 21,50 & 21,40 & 21,50 & 21,50 & 21,50 & 21,50 & 21,50 & 21,50 \end{bmatrix}$$

Пермножаємо матрицю X^T та матрицю X , маємо:

$$X^T X = \begin{bmatrix} 11,00 & 655,40 & 675,70 & 559,90 & 548,00 & 363,80 & 259,50 & 236,40 \\ 655,40 & 39231,14 & 40434,97 & 33361,93 & 32647,32 & 21672,92 & 15458,40 & 14085,36 \\ 675,70 & 40434,97 & 41677,47 & 34396,68 & 33660,02 & 22343,15 & 15936,22 & 14521,68 \\ 559,90 & 33361,93 & 34396,68 & 28504,65 & 27897,56 & 18513,87 & 13204,41 & 12032,72 \\ 548,00 & 32647,32 & 33660,02 & 27897,56 & 27304,06 & 18121,08 & 12924,66 & 11776,93 \\ 363,80 & 21672,92 & 22343,15 & 18513,87 & 18121,08 & 12034,62 & 8585,37 & 7818,31 \\ 259,50 & 15458,40 & 15936,22 & 13204,41 & 12924,66 & 8585,37 & 6125,29 & 5576,82 \\ 236,40 & 14085,36 & 14521,68 & 12032,72 & 11776,93 & 7818,31 & 5576,82 & 5080,54 \end{bmatrix}$$

Перемножаємо матриці ($X^T Y$):

$$X^T Y = \begin{bmatrix} 308,70 \\ 18388,42 \\ 18956,92 \\ 15708,77 \\ 15375,78 \\ 10212,59 \\ 7285,86 \\ 6634,16 \end{bmatrix}$$

Знаходимо обернену матрицю $(X^T X)^{-1}$:

$$(X^T X)^{-1} = \begin{bmatrix} 59988,17 & -101,72 & 87,88 & 47,69 & -498,30 & -245,38 & -200,63 & -1120,48 \\ -101,72 & 4,01 & -4,12 & ,99 & ,90 & -5,43 & 5,40 & 3,41 \\ 87,88 & -4,12 & 4,26 & -1,14 & -,68 & 5,75 & -5,60 & -3,25 \\ 47,69 & ,99 & -1,14 & 4,29 & -4,03 & -4,02 & 4,44 & -1,20 \\ -498,30 & ,90 & -,68 & -4,03 & 7,97 & 3,39 & -,32 & 8,85 \\ -245,38 & -5,43 & 5,75 & -4,02 & 3,39 & 16,72 & -14,15 & 1,51 \\ -200,63 & 5,40 & -5,60 & 4,44 & -,32 & -14,15 & 15,80 & 5,03 \\ -1120,48 & 3,41 & -3,25 & -1,20 & 8,85 & 1,51 & 5,03 & 26,44 \end{bmatrix}$$

ДСП $\delta = 18$ мм, $\lambda = 0,2$ Вт/(м·К)

Вектор оцінок коефіцієнтів регресії:

$$Y(x) = \begin{bmatrix} 9,30 \\ -,04 \\ 0,04 \\ -,18 \\ 0,03 \\ 0,91 \\ -,01 \\ -,16 \end{bmatrix}$$

Рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 9,3 - 0,04x_1 + 0,04x_2 - 0,18x_3 + 0,03x_4 + 0,91x_6 - 0,01x_7 - 0,16x_8$$

Перейдемо до статистичного аналізу отриманого рівняння регресії: перевірки значимості рівняння і його коефіцієнтів, дослідженню абсолютних і відносних помилок апроксимації

Для незміщеної оцінки дисперсії проробимо наступні обчислення:

$$\text{Незміщена помилка } \varepsilon = Y - Y(x) = Y - X \times s$$

Усі данні занесемо до таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Статистичний аналізу отриманого рівняння регресії

Y	$Y(x)$	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y(x) - Y_{cp})^2$	$\left \frac{\varepsilon}{Y} \right $
26,9	27,00	-0,10	0,0100	1,1236	0,0037
27,3	27,38	-0,08	0,0064	0,4624	0,0029
27,6	27,63	-0,03	0,0009	0,1849	0,0011
27,9	27,94	-0,04	0,0016	0,0144	0,0014
28,1	28,19	-0,09	0,0081	0,0169	0,0032
28,2	28,29	-0,09	0,0081	0,0529	0,0032
28,4	28,39	0,01	0,0001	0,1089	0,0004
28,5	28,57	-0,07	0,0049	0,2601	0,0025
28,5	28,62	-0,12	0,0144	0,3136	0,0042
28,6	28,67	-0,07	0,0049	0,3721	0,0024
28,7	28,73	-0,03	0,0009	0,4489	0,0010
				3,3587	0,0261

Порівняльний графік рівняння регресії для зразка стіни із ДСП (рис. 3.8)

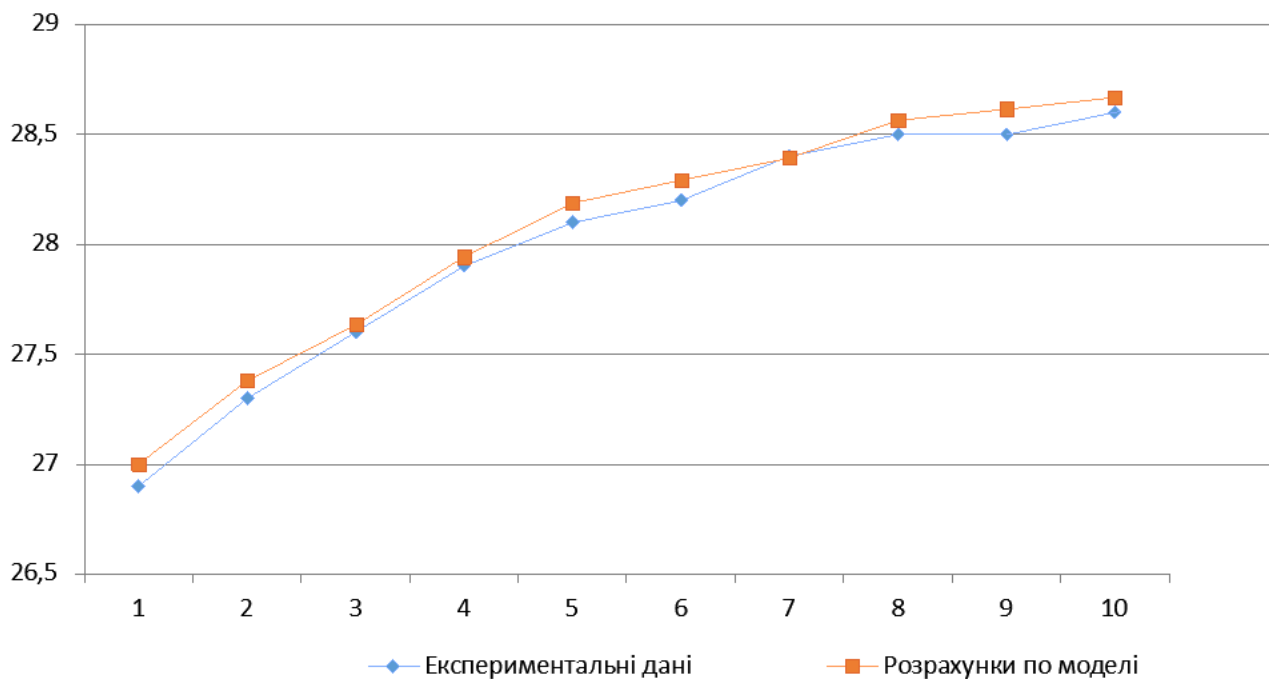


Рис. 3.8 Графік рівняння регресії для зразка стіни із ДСП

Середня похибка апроксимації

$$A = \frac{\sum \left| \frac{\varepsilon}{Y} \right|}{n} 100\% = \frac{0,0261}{11} 100\% = 0,2373\%$$

Оцінка дисперсії:

$$s_e^2 = (Y - X \times Y(X))^T (Y - X \times Y(X))$$

$$s_e^2 = 0,4037$$

Незміщена оцінка дисперсії:

$$s^2 = \left| \frac{s_e^2}{n - m - 1} \right| = \frac{0,4037}{11 - 7 - 1} = 0,1346$$

Оцінка середньоквадратичного відхилення (*стандартна похибка для оцінки Y*):

$$S = \sqrt{s^2} = \sqrt{0,1346} = 0,3668$$

Множинний коефіцієнт кореляції.

Ступінь спільного впливу факторів на результат оцінює індекс множинної кореляції, він приймає значення від 0 до 1 .

Тому R не може бути використаний для інтерпретації напрямку зв'язку. Чим щільніше фактичні значення y_i розташовуються відносно лінії регресії, тим менше залишкова дисперсія і, отже, більше величина $R_y (x_1, \dots, x_m)$.

Таким чином, при значенні R близькому до 1, рівняння регресії краще описує фактичні дані і фактори сильніше впливають на результат. При значенні R близькому до 0 рівняння регресії погано описує фактичні дані і фактори чинять слабкий вплив на результат.

$$R = \sqrt{1 - \frac{s_e^2}{\sum (y - y_{cp})^2}} = 0.937979044$$

Зв'язок між Y та факторами X сильний.

Оцінка значущості рівняння множинної регресії здійснюється шляхом перевірки гіпотези про рівність нулю коефіцієнту детермінації розрахованого за даними генеральної сукупності. Для її перевірки використовують F -критерій Фішера.

$$R^2 = 0.9379^2 = 0.8798$$

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - m - 1}{m} = 3.1370$$

Табличне значення $F_{кр}(11;7) = 3.09$

Оскільки фактичне значення $F > F_{кр}$, то коефіцієнт детермінації статистично значущий, а отже, отримане рівняння регресії статистично надійно. Це означає, що його можна використовувати для прогнозу і подальшого аналізу.

$X=0,01$ м товщина повітряного прошарку

$$Y(x) = \begin{bmatrix} 3,01 \\ ,03 \\ -,06 \\ -,09 \\ ,05 \\ 1,41 \\ -,40 \\ -,07 \end{bmatrix}$$

тобто маємо $Y(x_5) = 3.01 + x_1 \times 0.03 - x_2 \times 0.06 - x_3 \times 0.09 + x_4 \times 0.05 + x_6 \times 1.41 - x_7 \times 0.4 - x_8 \times 0.07$

Гіпсокартон $\delta=12$ мм, $\lambda=0,15$ Вт/м·К

$$Y(x) = \begin{bmatrix} 34,47 \\ -0,02 \\ 0,02 \\ 0,19 \\ -0,20 \\ 0,72 \\ 0,79 \\ -2,08 \end{bmatrix}$$

Рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 34,47 - 0,02x_1 + 0,02x_2 + 0,19x_3 - 0,20x_4 + 0,72x_6 + 0,79x_7 - 2,08x_8$$

Графік рівняння регресії для зразка стіни із гіпсокартону наведено на рис. 3.9

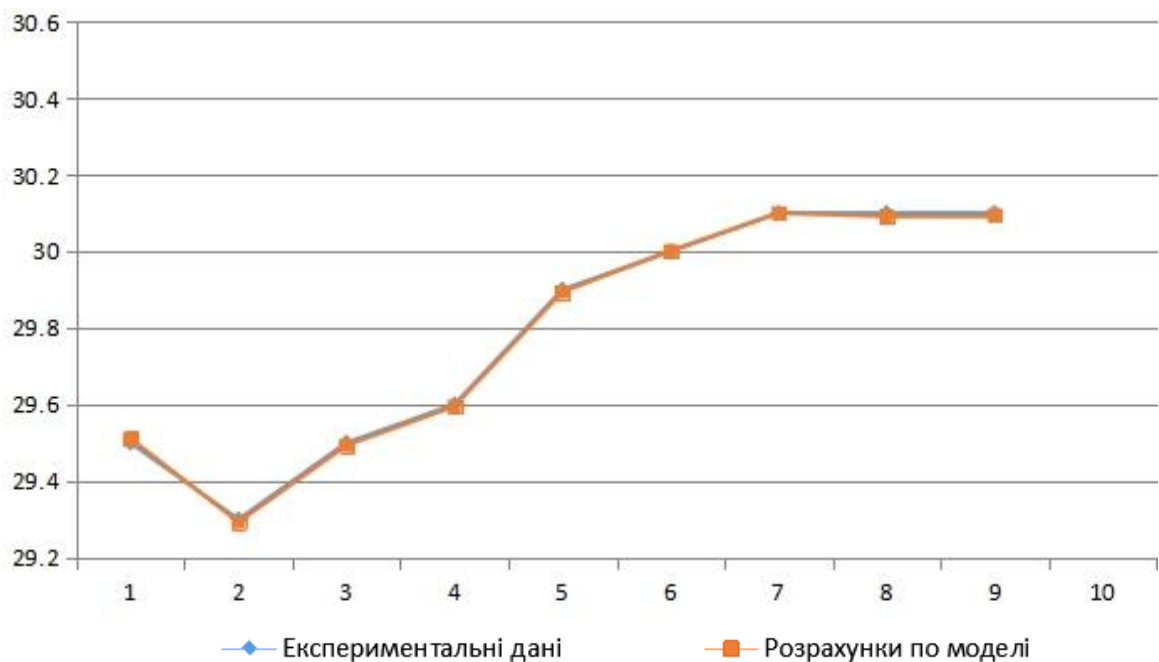


Рис. 3.9 Графік рівняння регресії для зразка стіни із гіпсокартону

Проаналізуємо параметри рівняння регресії.

$$R = \sqrt{1 - \frac{s_e^2}{\sum (y - y_{cp})^2}} = 0,9619$$

$$R^2 = 0,9619^2 = 0,9253$$

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - m - 1}{m} = 5,3106$$

Табличне значення $F_{кр}(11;7) = 3.09$

Оскільки фактичне значення $F > F_{кр}$, то коефіцієнт детермінації статистично значущий, а отже, отримане рівняння регресії статистично надійно. Це означає, що його можна використовувати для прогнозу і подальшого аналізу.

Скло $\delta = 4$ мм, $\lambda = 1,15$ Вт/м·К

$$Y(x) = \begin{bmatrix} 25,68 \\ -0,03 \\ 0,04 \\ -0,01 \\ -0,04 \\ 0,63 \\ 0,25 \\ -1,00 \end{bmatrix}$$

Рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 25,68 - 0,03x_1 + 0,04x_2 - 0,01x_3 - 0,04x_4 + 0,63x_6 + 0,25x_7 - 1,00x_8$$

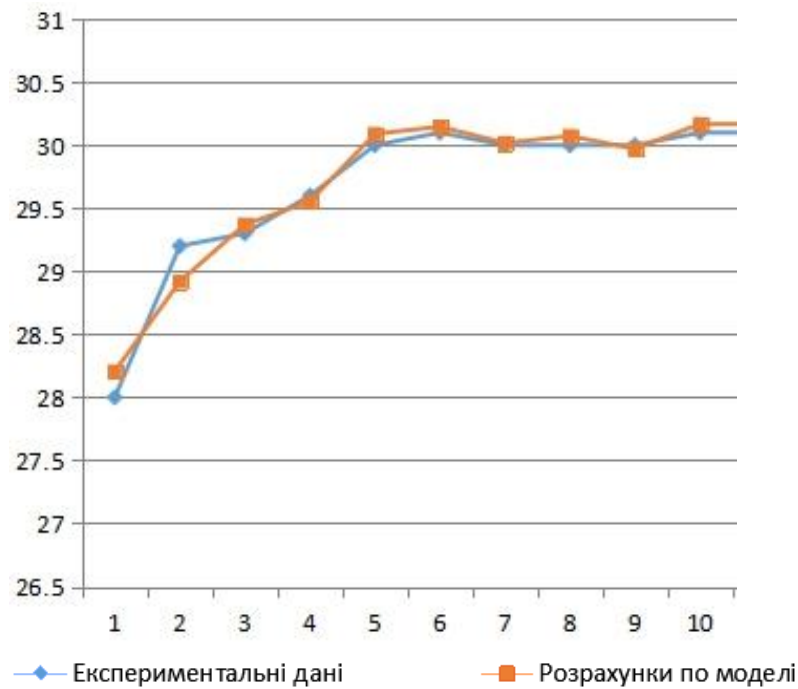


Рис. 3.10 Графік рівняння регресії для зразка стіни зі скла

Проаналізуємо параметри рівняння регресії.

$$R = \sqrt{1 - \frac{s_e^2}{\sum (y - y_{cp})^2}} = 0,9649$$

$$R^2 = 0,9649^2 = 0,9310$$

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - m - 1}{m} = 5,7837$$

Табличне значення $F_{kp}(11;7) = 3,09$

Оскільки фактичне значення $F > F_{kp}$, то коефіцієнт детермінації статистично значущий, а отже, отримане рівняння регресії статистично надійно. Це означає, що його можна використовувати для прогнозу і подальшого аналізу.

Полікарбонат $\delta = 4$ мм, $\lambda = 0,026$ Вт/м·К

$$Y(x) = \begin{bmatrix} 7,67 \\ 0,0027 \\ 0,0034 \\ -0,08 \\ 0,28 \\ 0,51 \\ -0,07 \\ -0,18 \end{bmatrix}$$

Рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 7,67 + 0,0027x_1 + 0,0034x_2 - 0,08x_3 + 0,28x_4 + 0,51x_6 - 0,07x_7 - 0,18x_8$$

Проаналізуємо параметри рівняння регресії.

$$R = \sqrt{1 - \frac{s_e^2}{\sum (y - y_{cp})^2}} = 0,9636$$

$$R^2 = 0,9636^2 = 0,9285$$

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - m - 1}{m} = 5,5648$$

Табличне значення $F_{kp}(11;7) = 3,09$

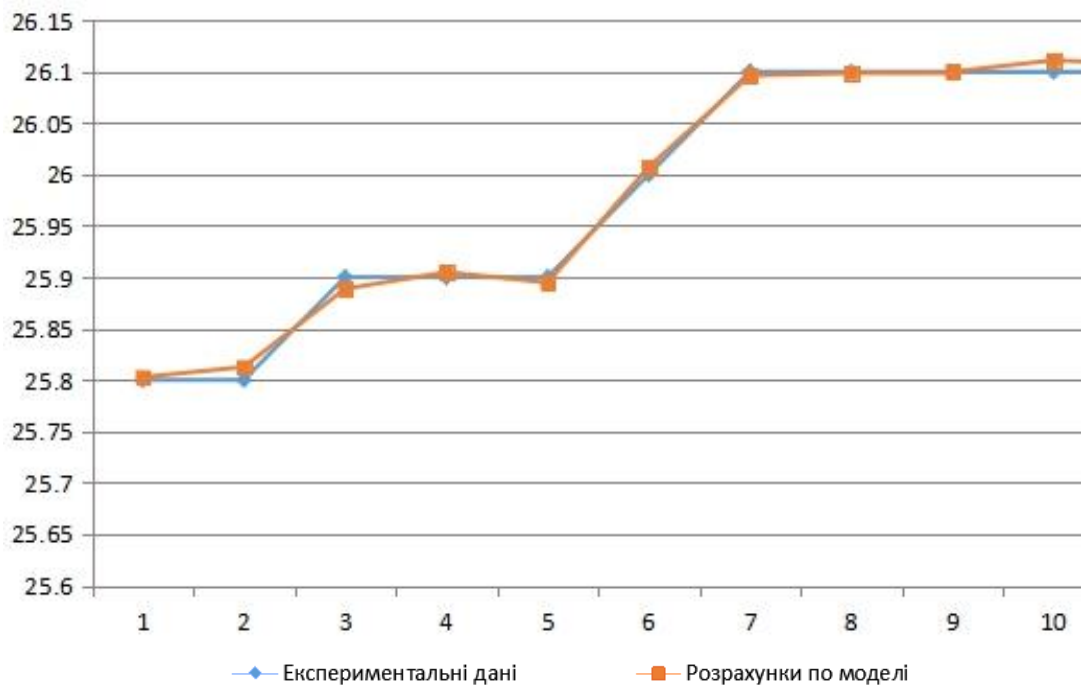


Рис. 3.11 Графік рівняння регресії для зразка стіни із полікарбонату

Виконано моделювання дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу передбачає побудову лінійних моделей його залежності від сукупності вхідних факторів кожного його структурного блоку. Оскільки фактичне значення $F > F_{кр}$, то коефіцієнт детермінації статистично значущий, а отже, отримане рівняння регресії статистично надійно. Це означає, що його можна використовувати для прогнозу і подальшого аналізу.

3.9 Висновки до розділу 3

1. Отримано результати досліджень проходження теплового потоку крізь зразки стінок із гіпсокартону, ДСП, скла, полікарбонату та екструдованого пінополістиролу. Виявлено, що в повітряному прошарку, розташованому перед фольгою температура поширюється нелінійно, утворюючи “стрибки”. Тобто повітряний прошарок нагрівається більше у порівнянні з теоретично розрахованими даними. Температурні скачки спостерігаються при товщині повітряного прошарку 10 та 15 мм, при збільшенні товщини графік теплового потоку згладжується, що свідчить про менший ефект відбивання і виникнення конвективної теплопередачі в повітряному прошарку.

2. Виконано розрахунок радіаційної і конвективної складової процесу теплопередачі в конструкції із замкнутими повітряними прошарками. За методом Хрiстiансена визначено теплопровiднiсть повітряних прошарків до та після прошарку фольгованого матеріалу. Теплопровiднiсть перших прошарків згiдно з результатами менша нiж теплопровiднiсть другого прошарку.

3. Проведено кваліфікаційні випробування термічного опору дослідних зразків з екструдованого пінополістиролу з двома замкнутими повітряними прошарками, розділеними фольгованим матеріалом загальною товщиною 60 мм, який склав $1,823 \text{ м}^2\text{К/В}$, одношаровим зразком екструдованого полістиролу товщиною 60 мм, який склав $1,66 \text{ м}^2\text{К/В}$.

4. Виконано моделювання дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу передбачає побудову лінійних моделей його залежності від сукупності вхідних факторів кожного його структурного блоку. Моделювання показало, що всі отримані коефіцієнти детермінації статистично значущі, а отже, отримані рівняння регресії статистично надійні. Це означає, що їх можна використовувати для прогнозу і подальшого аналізу.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ЕКРАННОЇ ІЗОЛЯЦІЇ В ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЯХ ТА ЇЇ ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Забезпечення раціонального теплового режиму будинків, оптимальне використання тепла теплогенеруючих установок в системах тепlopостачання, опалення, вентиляції та кондиціонування має першочергове значення. Від теплотехнічних властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків залежить кількість тепла, яку втрачає будинок в холодну пору року. А це визначається сталістю температурного режиму в об'ємі приміщення при змінах температури, швидкістю повітря ззовні будинку, тепловіддачею системи опалення будинку, температурою на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції і можливістю утворення конденсату на ній, а також вологістю режиму, що впливає на теплозахисні властивості огороження і його довговічність.

Тому вивчення законів тепловологопереносу та повітропроникності дозволяє раціонально проектувати зовнішні огорожувальні конструкції будинків з урахуванням усіх факторів, які можуть вплинути на експлуатацію даних конструкцій. Це дає змогу збільшити строк експлуатації будинків, знизити витрату теплової енергії при їх тепlopостачанні. Особливо велике значення має правильне застосування теплофізичних законів в умовах широкого застосування в будівництві нових матеріалів і технологій.

Теплозахист будівель та споруд залежить від багатьох факторів і його найбільш ефективно вирішення можливе при комплексному врахуванні поверховості, планувальних рішень, орієнтуванні на місцевості, виборі будівельних матеріалів, виробів і конструкцій. На сучасному етапі повинна бути гарантована можливість реалізації різних за своїм характером вимог

теплозахисту будівель та споруд, тому необхідно забезпечити стабільний тепловий режим в різні пори року та швидке нагрівання приміщень.

Заходи з теплозахисту будівель необхідні при зведенні стін підвалів, зовнішніх стін, перекриттів і покриттів для того, щоб вони якомога менше віддавали тепла з приміщень назовні. Зусилля, в першу чергу, слід направляти на підвищення рівня теплоізоляції будинків.

Необхідно також враховувати, що деякі теплофізичні характеристики матеріалів можуть суттєво змінюватися залежно від температурита часу. В багатьох практичних задачах з теплофізики характеристики матеріалу з часом можуть змінюватися в широкому діапазоні. Розв'язок цих задач потребує врахування змін теплофізичних характеристик матеріалів під час розрахунку їх температурного режиму, оскільки температурний режим у багатьох випадках визначає теплофізичні характеристики матеріалу.

Розрахунки температурних полів, виконані на основі лінійних математичних моделей процесу теплопровідності, не завжди дають задовільні результати, особливо у тих випадках, коли температура змінюється в значному діапазоні. Тому для побудови найбільш адекватної реальному процесу математичної моделі необхідно врахувати залежність від температури теплофізичних характеристик матеріалів, щільність поверхневих потоків і внутрішніх джерел енергії (тепла).

4.1 Розробка теплоізоляційної плитки з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фолькованим матеріалом

Фасадна теплоізоляційна панель складається з задньої 1, бічної 2 і передньої 3 стінки. Порожнини 4 замкнуті, розділені на два прошарки тепловідбиваючим екраном 5.

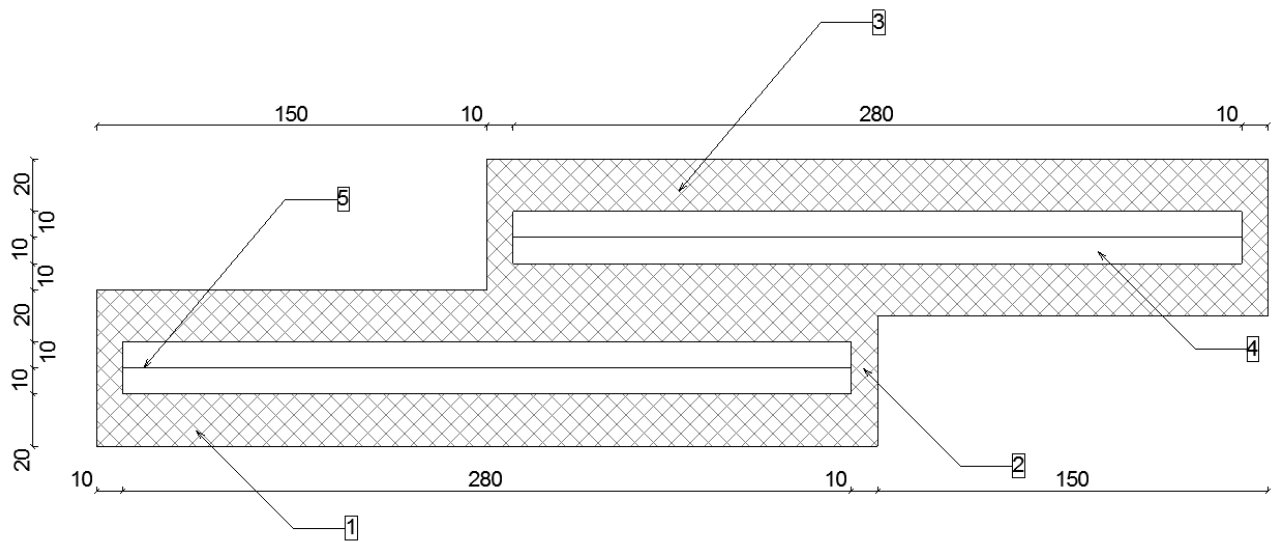


Рис. 4.1 Конструкція енерговідбиваючої плитки

Фіксацію панелей між собою здійснюють за допомогою входження виступів на верхній грані однієї панелі з западинами на нижній грані іншої панелі. Виконання такого типу стикування панелей забезпечує відсутність містків холоду і полегшує монтаж панелей.

Основою термопанелі вибрано:

- полімерпіщану плитку для оздоблення, утеплення та гідроізоляції цоколів;
- екструдований пінополістиол для утеплення фасадів будівлі.

4.2 Результати впровадження

Проведені дослідження в галузі енергозберігаючих конструкцій, виконаних із застосуванням екранованих невентильованих прошарків повітря у 2013-2021 р. були застосовані при моделювання фасадної енергозберігаючої плитки.

Стіна утеплена плиткою з двома невентильованими повітряним прошарками, розділеними фольгованим матеріалом має вигляд (рис. 4.2)

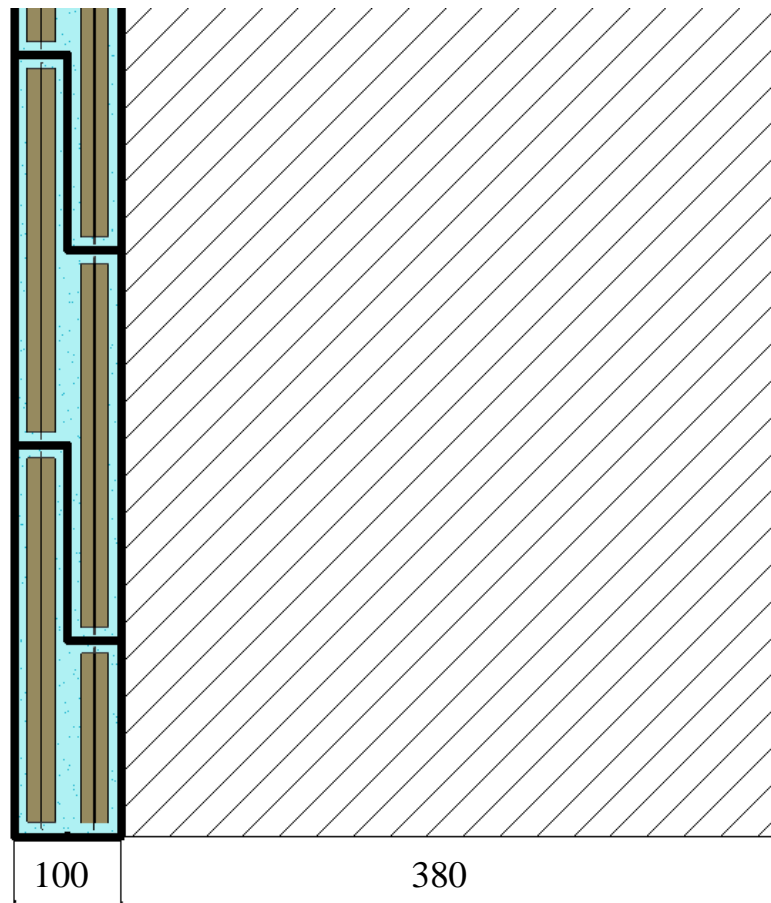


Рис. 4.2 Стіна утеплена плиткою з невентильованими повітряними прошарками

Використовуючи задані розміри і значення теплопровідності матеріалів, розраховано термічний опір огорожувальної конструкції, утепленої теплоізоляційною плиткою. Для розрахунку прийнято наступні параметри стіни:

- 1 – стіна з керамічної цегли $\delta = 380$ мм, $\lambda = 0,7$ Вт/(м·К);
- 2 – теплоізоляційна плитка з невентильованими повітряними прошарками $\delta = 100$ мм, $\lambda = 0,0327$ Вт/(м·К) ($R = 2 \times 1,83$ м²·К/Вт):

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{\alpha_s} + \frac{1}{\alpha_g} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (4.1)$$

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,7} + \frac{0,1}{0,0327} + \frac{1}{23} = 3,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$$

$$R_{\text{заг}} > R_{\text{норм}}$$

Термічний опір запропонованої багат шарової стіни дорівнює 3,8 (м²·К)/Вт, що свідчить про її високі теплоізоляційні властивості.

Для утеплення та гідроізоляції конструкцій цоколів розраховано термічний опір стіни з утепленням полімеріщаною плиткою з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом.

Для розрахунку прийнято наступні параметри стіни:

1 – стіна бетону на гравії або щебені з природного каменю $\delta=380$ мм, $\lambda=1,74$ Вт/(м·К);

2 – полімерпіщана теплоізоляційна плитка з невентильованими повітряними прошарками $2 \times \delta = 54$ мм, $R=2 \times 0,96$ Вт/(м·К):

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{1,74} + 1,92 + \frac{1}{23} = 2,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$$

$$R_{\text{заг}} > R_{\text{норм}}$$

4.3 Виробництво полімерпіщаних термопанелей

Полімерпіщана плитка – це сучасний інноваційний матеріал, який за останні роки активно використовується при облаштуванні прибудинкових територій і ділянок соціально-комерційного призначення. Паркувальні місця, садові доріжки і тротуари, вимощення навколо будинку, фундаменти та фасади будівель та споруд завдяки полімерам, використовуваним в складі цього композитного матеріалу, володіють підвищеними експлуатаційними та естетичними якостями.

Перевага матеріалу [111]:

– Простота монтажу. Вага одного квадратного метра полімерпіщаної плитки в 2 рази менше, ніж у керамічних, піщано-бетонних або цементно-піщаних виробів, що дозволяє транспортувати і укладати її своїми силами, без застосування спеціальної техніки.

– Висока волого-і морозостійкість. Завдяки застосуванню спеціальних полімерів на поверхні плитки не утримуються опади (лід, сніг) і вона не вбирає вологу. За рахунок цього полімерпіщана плитка не тріскається, не лопає і не схильна до дії грибків і плісняви. Температурний діапазон її застосування від -60 до +45 С.

– Термін служби не менше 50 років. По міцності полімерпіщана плитка перевершує будь-яке інше аналогічне покриття. Її міцність на вигин в 5 разів перевищує цементні аналоги, тому при транспортуванні, укладанні і експлуатації «бій» становить 0%.

Склад полімерпіщаної суміші[64]:

- пісок середньозернистий - 65-75%;
- полімер - 25-35%;
- барвник - 3-5%;
- стабілізатор - 1-2% (для захисту від ультрафіолету). [64]

Для приготування композитної суміші використовуються такі складові [111], [112]:

пісок: використовується фракція до 3 мм, бажано без глинистих включень з вологістю від 0,1% до 10,3%, який попередньо просівається, що дозволяє позбутися від сторонніх включень. Найчастіше застосовується звичайний кар'єрний або річковий пісок, без попередньої підготовки підходить пісок з вологістю до 10с%;

полімери: можуть використовуватися як первинні, так і вторинні полімери. Для виробництва можуть використовуватися полімери різних груп (ПНД, ПВД і т.д.). Технологія допускає використання полімерів різних груп, при цьому, важливою умовою є підбір полімерів з однаковою температурою плавлення;

барвники: можуть використовуватися як мінеральні, так і органічні широкої колірної гама. При виборі органічних барвників слід враховувати їх низьку стійкість до впливу УФ-променів, а також до впливу високих температур в процесі приготування, тому для виготовлення продукції високої якості

найкраще використовувати пігменти мінерального походження [111]-[114].

Для виробництва полімерпіщаної черепиці необхідно наступне обладнання (рис. 4.3) [111]-[114]:

- подрібнювач відходів;
- екструзійна установка;
- термозмішувальна установка;
- агрегат плавильно-нагрівальний;
- прес для формування з робочої суміші готової продукції;
- додаткове обладнання (дробарка браку, сушарка піску) [114].

На першому етапі відібрані і відсортовані полімерні відходи подрібнюються на дробильній машині. Бажано мати співвідношення 50/50 твердих і м'яких полімерів. В результаті утворюється плівка в дрібній фракції, яка в процесі дроблення очищається від сторонніх включень [112]-[114].

Після першого подрібнення відходи пластиків потрапляють в екструзійну машину. Змішування піску, полімерів і барвників відбувається в термозмішувальному агрегаті (агрегат плавильно-нагрівальний). Для отримання однорідної маси АПН розділений на 3 зони з різними температурними режимами. АПН укомплектований терморегуляторами, які в автоматичному режимі контролюють процес включення і виключення кожної із зон нагрівання. Діапазон регулювання температур від 50 до 450 °С [112]-[114].

При подальшій формуванні та застиганні полімерпіщана маса утворює однорідну монолітну структуру з високою міцністю.

Таким чином, отримана полімерпіщана маса з температурою на виході близько 170-190 °С видавлюється з машини після відкриття заслінки. Оператор відрізає ножом необхідну кількість, зважує на терезах і, отримавши потрібну (близько 2 кг), звичайним совком укладає в форму. Номінальне зусилля, необхідне для виготовлення полімерпіщаної продукції 150 т. Робота з пресом можлива як в ручному так і напівавтоматичному режимі. Автоматичний контроль часу витримки під тиском в середньому 2 хв. [112]-[114].

Прес-форми є основним видом оснащення для полімерпіщаної виробництва і призначені для надання форми готовому виробу. Для охолодження полімерпіщаної маси в процесі формування, в прес-формі передбачена система каналів і штуцерів, через які прес-форма підключається до системи охолодження, що забезпечує циркуляцію охолоджуючої рідини всередині форми для ефективного охолодження виробу по всьому об'єму.

Формування готового виробу відбувається завдяки зусиллю, яке розвиває прес з одночасним охолодженням форми [114].

Форма, встановлена на пресі з рухомою нижньою плитою, охолоджується по-різному. Верхня частина має температуру близько 80 °С, а нижня 45 °С. Це зроблено для створення глянцю на зовнішній стороні полімерпіщаної черепиці. Для отримання матової поверхні потрібно охолодити верхню форму так само як і нижню [114].

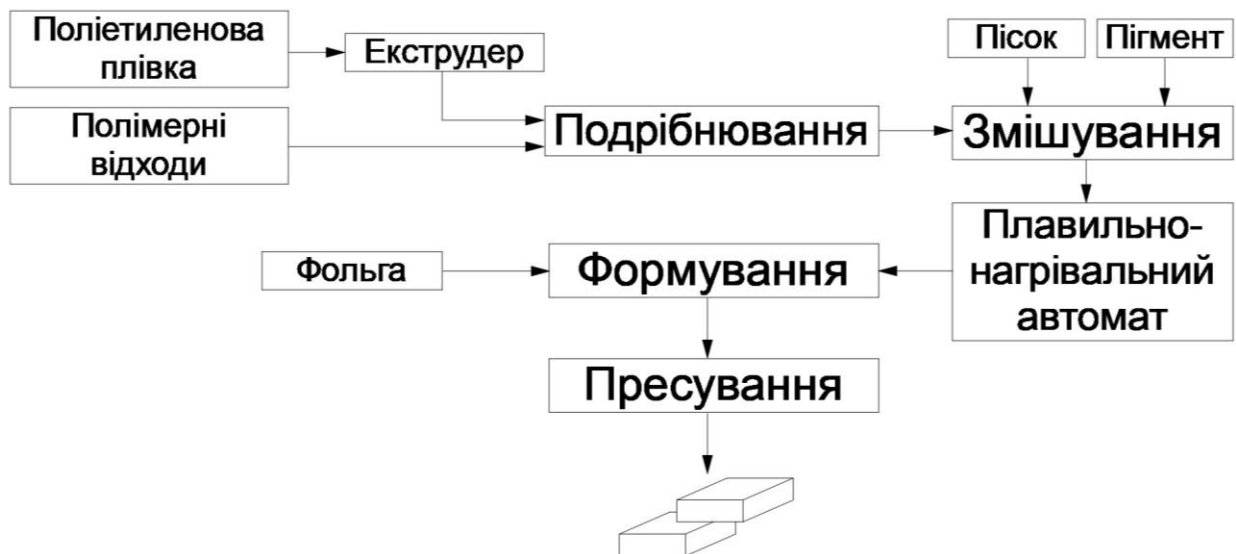


Рис. 4.3 Схема виробництва полімерпіщаної теплоізоляційної плитки

Варто відзначити, що виробництво полімерпіщаної плитки сприяє збереженню навколишнього середовища. Одне підприємство за один місяць в середньому переробляє близько 20 тонн полімерних відходів, очищаючи тим самим від довговічного сміття умовну територію в 5 квадратних кілометрів [114].

4.5 Послідовність виконання робіт по монтажу теплоізоляційних

ПЛИТ

I. Необхідні інструменти при монтажі термоізоляційних плит

1. Шурупокрут.
2. Плиткоріз з ріжучим кругом по каменю (бетону).
3. Викрутка.
4. Перфоратор з набором звичайних свердел і SDS plus.
5. Ніж.
6. Будівельний рівень 0,6 м ~ 2,0 м; водяний рівень.
7. Молоток.
8. Гумова киянка.
9. Шпатель.
10. Шприц-пістолет.
11. Пістолет для піни монтажноі.
12. Макловиця, щітка.
14. Відвіс, контрольні нитки.

II. Підготовка фасаду будівлі [116]

Перед початком обробки фасаду необхідно встановити підмости і будівельні щити на відстані 25-35 см від стіни, щоб в подальшому уникнути зон, недоступних для виконання робіт.

Виконати демонтаж раніше присутніх на фасаді конструкцій (водостічних труб, вивісок, елементів освітлення, відливів, козирків і т.п.).

Очистити поверхню стін від бруду, жирних плям і старих покриттів, які відшаровуються.

За допомогою рівнів провести горизонтальні і вертикальні позначки для виявлення відхилень від вертикалі стінової конструкції. При виявленні значних дефектів і кутових відхилень необхідно виконати зруб нерівностей і виступів за допомогою відбійних молотків. При виявленні ям, западин і інших

заглиблень вертикальній площині з перепадом більше 3,0 см допускається можливість попереднього вирівнювання цементно-піщаним розчином або нарощування пінополістиролом за допомогою клею ПУ Титан Styro753 (рідкого пінопласту) [116].

Всі роботи з утеплення та оздоблення фасаду будівлі виконуються із застосуванням сухих будівельних сумішей і рідких продуктів при температурі навколишнього середовища не нижче + 5⁰С і не вище + 28⁰С.

III. Грунтування поверхні стін

Після очищення поверхні стін виконуємо грунтування ґрунтовкою на водній основі.

IV. Перед установкою стартового профілю проводиться:

- Відбивка контуру будівлі водяним рівнем;
- Відбивка кутів будівлі відвісом.

V. Установка стартового профілю

В якості стартового профілю використовується металевий куточок або рівний брус з перетином 60÷100 мм, який буде служити основою для плит на час монтажу, а після демонтуються.

Стартовий профіль прикріплюється до стіни анкерами строго по горизонтальних відмітках, зазначеними за допомогою рівня.

Примітка: з огляду на вагу споруджуваного фасаду, при використанні дерев'яного бруса в якості стартового профілю, відстань між точками кріплення бруса не повинна перевищувати 80 см.

VI. зведення кутів

Монтаж починаємо з приклеювання плит на кутах.

VII. монтаж плит

- На стартовий профіль встановлюються плити по нитці ряд за рядом. При цьому плити виставляються за рівнями на клейових маяках, нанесених на зворотний бік плити в місцях установки анкерних кріплень. Крім маячкового методу можливе нанесення клею смуговим або суцільним методом, в залежності

від нерівності поверхні стіни.

Для монтажу плит використовується клей на цементній основі, призначений для приклеювання пінополістирольних плит CERESIT СТ-83.

Під час порядової установки необхідно ставити технологічні зазори в місцях сполучення плит за допомогою прокладок товщиною ≥ 2 мм, можна використовувати пластикові хрестики або клини, які зазвичай використовуються при укладанні кахлю.

При цьому збіг вертикальних швів не допускається (рис. 4.4)

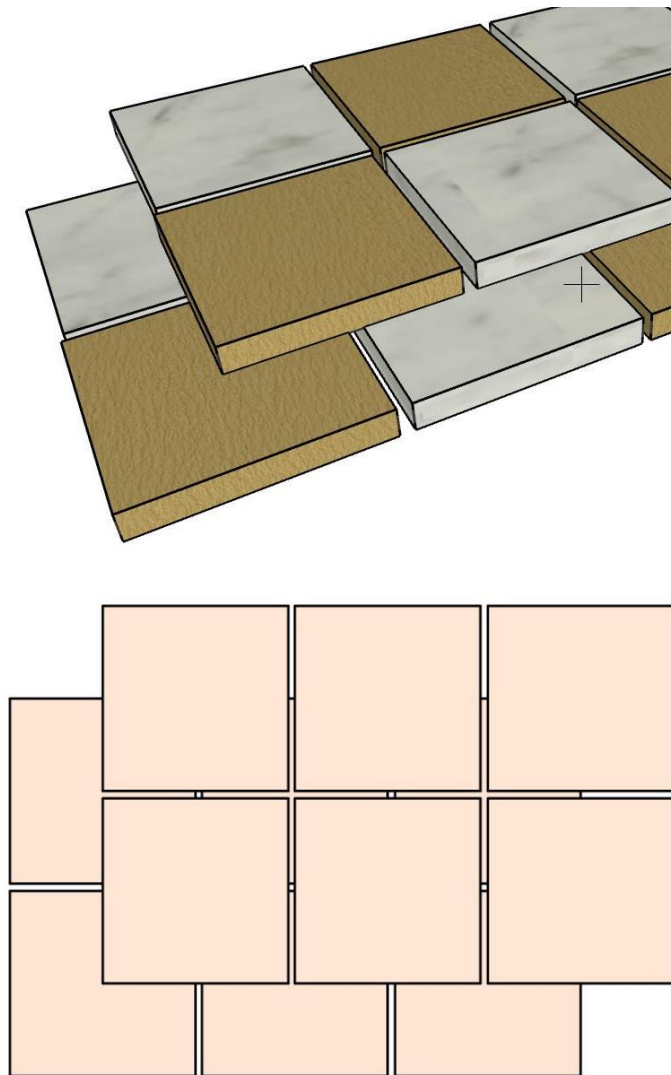


Рис. 4.4 Монтаж стінових плиток

З метою якісного виконання утеплення зовнішніх стін будівель та споруд пропонуються різні форми і типорозміри будівельного виробу з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим матеріалом (рис. 4.5-4.8).

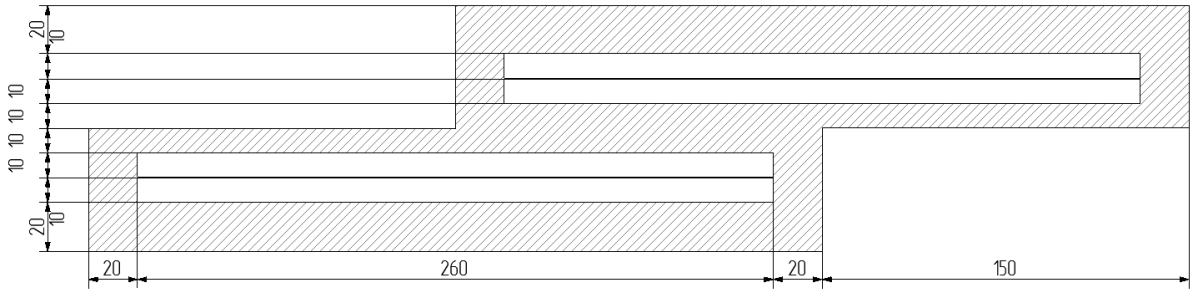


Рис. 4.5 Будова енерговідбиваючої плитки

Для утеплення стін біля віконних і дверних отворів, кутів будівель передбачено конструктивне виконання торцевої та кутової секцій (рис. 4.6, 4.7).

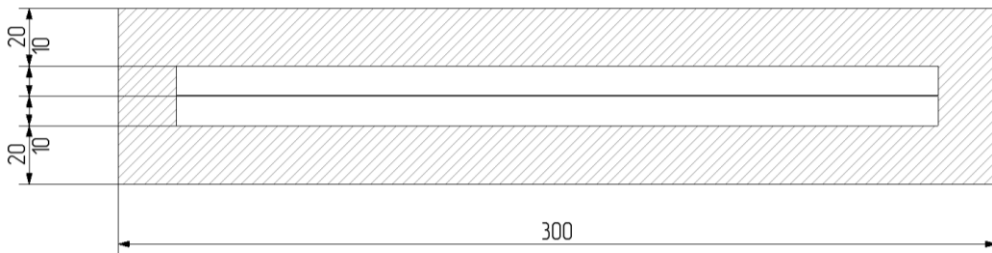


Рис. 4.6 Торцева одинарна секція

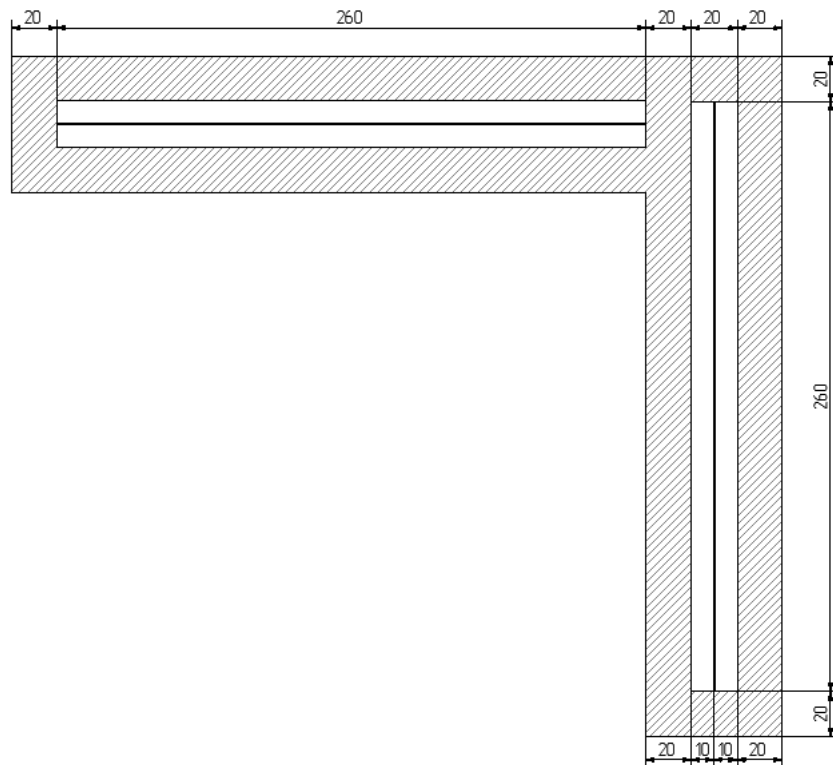


Рис. 4.7. Кутова секція

VIII. Перевірка встановлених плит рівнем на горизонталь і вертикаль

ІХ. Анкерування

В якості анкерів використовуються:

- дюбель швидкого монтажу $\varnothing 8\text{мм}$ – в разі якщо стіни з щільного матеріалу (бетон, цегла);

- шуруп по дереву (широкий крок різьби) $\varnothing 4,8\div 6,0\text{ мм}$ – в разі якщо стіни з дерева або пористого бетону

- Довжина дюбеля вибирається таким чином, щоб в основу стіни він проникав на глибину $40 \div 65\text{мм}$, а шуруп по дереву при варіанті стін із пористого бетону на $50 \div 70\text{мм}$.

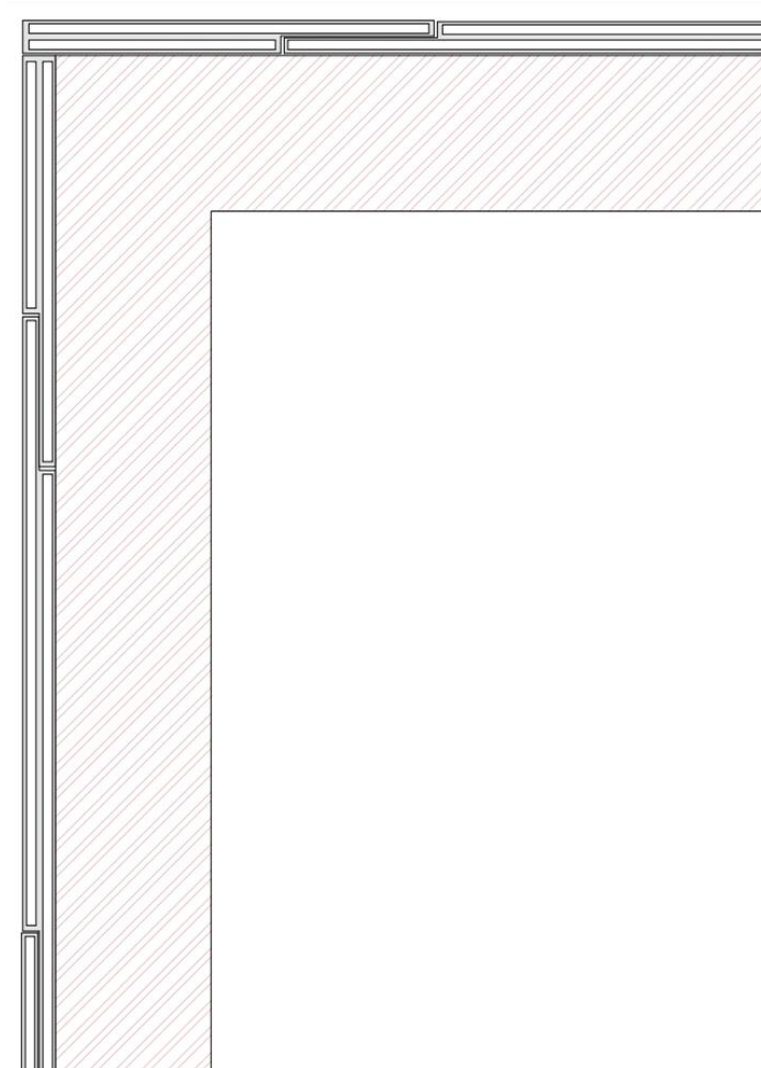


Рис. 4.8 Монтаж стінових плиток, стикування на кутах

- Після затвердіння клейових маяків в технологічних петлях внутрішнього захисного шару плити свердлити отвори для установки анкерних кріплень. У

готовий отвір встановлюється дюбель (шуруп), щоб уникнути утворення тиску від головки анкера на зовнішній шар панелі, яке виникає при термічних і геометричних навантаженнях на конструкцію.

- Шуруп закручується в пористий бетон без попереднього свердління.
- На одну плиту цілком достатньо двох анкерів. При необхідності використовуємо до чотирьох анкерних кріплень.

ХІІ. Герметизація швів

- Для герметизації стиків примикання плит використовуються спеціальні еластичні герметизуючі мастики: «Еласт-Шов», «Тенапласт», «Оксіпласт» Герметизація швів повинна проводитися таким чином, щоб герметизуючий матеріал наносився на всю внутрішню поверхню шва зовнішніх декоративних шарів. За глибиною ≥ 5 мм. При цьому необхідно враховувати усадку герметизуючої суміші при висиханні і наносити шар матеріалу дещо товщі і іноді в два заходи.

- Для прискорення виконання спільних робіт процес анкерування, ґрунтування швів і їх закладення можливі майже відразу за порядним монтажем плит і ведуться паралельними шляхами.

- Для нанесення мастики використовується будівельний шприц-пістолет або пакет, а також шпатель. Роботи з утеплення слід виконувати в сухих умовах і при відносній вологості повітря не нижче 80%. Не слід виконувати роботи на поверхнях, які схильні до інтенсивного впливу сонячних променів. Уже нанесені шари слід захищати від дощу, сильного вітру і прямих сонячних променів [116].

4.5 Аналіз техніко-економічних чинників утеплення зовнішніх огорожень

Розрахуємо економічний ефект від утеплення фасаду будинку. Кількість теплоти, яка економиться після утеплення ΔQ , Вт/м², становить:

$$\Delta Q = Q' - Q^{ym}, \quad (4.2)$$

де Q' – тепловтрати через 1 м² поверхні стіни до проведення робіт з термореновації, Вт/м²;

ут Q^{yt} – тепловтрати через 1 м² поверхні стіни після проведення робіт з термореновації, Вт/м².

$$Q' = k' F \Delta t_p, \quad (4.3)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій до утеплення, Вт/(м² × К);

Δt_p – розрахункову різницю температур, для м. Вінниці, прийємо $\Delta t_p = t_{в} - t_{х5} = 20 - (-18) = 38$ °С.

$$Q^{ym} = k^{ym} F \Delta t_p, \quad (4.4)$$

де k^{ym} – коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій після утеплення, Вт/(м² × К);

Тоді величину ΔQ , Вт/м², можна подати у вигляді:

$$Q^{ym} = (k' - k^{ym}) F \Delta t_p \quad (4.5)$$

Коефіцієнт теплопередачі захищення до термореновації можна подати у вигляді, а коефіцієнт теплопередачі захищення після утеплення:

$$k^{yt} = \frac{1}{R_0 + R^{ym}} \quad (4.6)$$

Де R_0 – опір теплопередачі захищаючої конструкції до утеплення, м²К/Вт, а ут R^{ym} – опір теплопередачі шару утеплювача, м²К/Вт (для теплоізоляційної панелі з не вентиляльованими повітряними прошарками $\lambda = 0,0327$ Вт/(м·К)), тоді:

$$\Delta Q = \frac{R^{ym}}{R_0(R_0 + R^{ym})} F \Delta t_p \quad (4.7)$$

З наведеної залежності зрозуміло, що кількість заощадженої теплової енергії залежить не лише від опору теплопередачі шару утеплювача (відповідно і його товщини), але й від початкового опору теплопередачі огорожувальної конструкції, яка утеплюється. Розглянемо три варіанти утеплення огорожувальної конструкції з трьома варіантами утеплення :

1 - стіна з керамічної цегли $\delta = 380$ мм, $\lambda = 0,75$ Вт/(м·К) + плитка з екструдованого пінополістиролу з невентильованими повітряними прошарками $\delta = 100$ мм, $R = 3,05$ (м·К) /Вт;

2 - стіна з керамічної цегли $\delta = 380$ мм, $\lambda = 0,27$ Вт/(м·К) + пінополістирольний утеплювач $\delta = 100$ мм, $R = 2,7$ (м·К) /Вт;

3 - стіна з керамічної цегли $\delta = 380$ мм, $\lambda = 0,27$ Вт/(м·К) + мінераловатний утеплювач $\delta = 100$ мм $R = 2,27$ (м·К) /Вт

Для кожного типу стіни визначимо кількість теплової енергії, яка заощаджується протягом опалювального періоду за різних товщин шару теплової ізоляції, та пов'язану з цим економію коштів. Для розрахунку приймемо тарифи по МКП Вінницяміськтеплоенерго станом на 1.01.2020 р., який становить 1375,27 грн./Гкал [120].

Для кожного з розглянутих варіантів визначено також термін окупності термореноваційного заходу, який визначаємо як відношення затрат, пов'язаних з реалізацією термореноваційного заходу до річної економії коштів, отриманих за рахунок цього термореноваційного заходу. Для загальнобудівельних робіт нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (величина обернена до терміну окупності) становить 0,12, що відповідає терміну окупності 8,3 роки.

Підвищення цін на газ призводить до подальшого підвищення тарифів на теплову енергію, тому з великою вірогідністю можна очікувати в найближчому майбутньому збільшення тарифу для населення на 50%. У цьому випадку становитиме близько 2062,5 грн./Гкал, а утеплення стін з теплоізоляційною плиткою з не вентильованими повітряними прошарками стає рентабельним, а для інших конструкцій термін окупності залишається доволі високим.

Таблиця 4.1

Економічні показники утеплення зовнішніх стін (віднесені до 1 м² поверхні захищення) за різних характеристик огорожувальних конструкцій

№ з/п	Техніко-економічні показники для різних типів огорожувальних конструкцій.	Показники економії	
		3	
1	2	3	
1	Стіна з керамічної цегли $\delta=380$ мм, $\lambda=0,27$ Вт/(м·К) + пінополістирольна плитка з невентильованими повітряними прошарками $\delta=100$ мм, $R=3,05$ (м·К) /Вт	Економія теплової енергії, Гкал/рік	0,099
		Економія коштів, грн./рік	38,97
		Простий термін окупності, рік	3,6
2	Стіна з керамічної цегли $\delta=380$ мм, $\lambda=0,27$ Вт/(м·К) + пінополістирольний утеплювач $\delta=100$ мм, $R=2,7$ (м·К) /Вт	Економія теплової енергії, Гкал/рік	0,086
		Економія коштів, грн./рік	33,8
		Простий термін окупності, рік	4,2
3	Стіна з керамічної цегли $\delta=380$ мм, $\lambda=0,27$ Вт/(м·К) + мінераловатний утеплювач $\delta=100$ мм $R=2,27$ (м·К)/ Вт	Економія теплової енергії, Гкал/рік	0,075
		Економія коштів, грн./рік	29,52
		Простий термін окупності, рік	4,8

Впровадження заходів з енергозбереження шляхом утеплення огорожувальних конструкцій будівлі окупиться за 3,6 років.

4.6 Висновки до розділу 4

1. Розроблена теплоізоляційна фасадна плитка з екструдованого пінополістиролу та полімерпіщаного матеріалу із застосуванням екранної теплоізоляції з невентильованими повітряними прошарками, використання якої дозволить досягнути економічної ефективності теплозахисту зовнішньої стіни.
2. Аналіз техніко-економічних чинників утеплення зовнішніх огорожень показав, що впровадження заходів з енергозбереження шляхом утеплення огорожувальних конструкцій будівлі окупиться за 3,6 років.
3. Розглянуто процес виробництва полімерпіщаної плитки, виявлено, що об'єм одного виробу заданої форми складає $0,054 \text{ м}^3$, об'єм порожнин всередині плитки складають $0,005 \text{ м}^3$. Конструкція даної плитки дозволить зменшити кількість сировини на один виріб на 9,3 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Відповідно до аналізу використання тепловідбиваючої ізоляції при будівництві та реконструкції будівель і споруд виявлено, що даний матеріал використовується здебільшого для теплоізоляції трубопроводів та всередині приміщень з високими температурами у вигляді рулонних покриттів. Через те, що такі матеріали в галузі будівництва почали використовуватись відносно недавно, то цілком закономірним є відсутність об'єктивної інформації про їх теплозахисні властивості, а вже наявна інформація, яку, як правило, надають виробники даної продукції, носить досить суперечливий характер.
2. Отримано результати досліджень проходження теплового потоку крізь зразки стінок із гіпсокартону, ДСП, скла та полікарбонату. Виявлено, що збільшення термічного опору багат шарової теплоізоляційної конструкції, в якій використовуються невентильовані екрановані повітряні прошарки, спостерігається незалежно від матеріалу її каркасу.
3. Виявлено, що в повітряному прошарку, розташованому перед фольгою температура поширюється нелінійно, утворюючи “стрибки”. Тобто повітряний прошарок нагрівається більше порівнянні з теоретично розрахованими даними. Температурні скачки спостерігаються при товщині повітряного прошарку 10 та 15 мм, при збільшенні товщини графік теплового потоку згладжується, що свідчить про менший ефект відбивання і виникнення конвективної теплопередачі в повітряному прошарку.
4. Досліджено проходження теплового потоку крізь фольговані теплоізоляційні плити за допомогою методу кореляційно-регресійного аналізу, який передбачає побудову лінійних моделей його залежності від сукупності вхідних факторів кожного його структурного блоку. Моделювання показало, що всі отримані коефіцієнти детермінації статистично значущі, а отже, отримані рівняння регресії статистично надійні. Це означає, що їх можна використовувати для прогнозу і подальшого аналізу.

5. На основі проведених дослідів розроблено дослідні зразки загальною товщиною 60 мм, що складаються із двох шарів екструдованого пінополістиролу товщиною 20 мм з двома замкнутими повітряними прошарками товщиною по 10 мм, розділеними фольгованим матеріалом. При випробовуванні зразків на установці для визначення теплопровідності будівельних матеріалів ІТ-7С згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000 в горизонтальному положенні виявлено, що термічний опір зразків склав $R=1,83 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.
6. Розроблена теплоізоляційна фасадна плитка із застосуванням екранної теплоізоляції з невентильованими повітряними прошарками, використання якої дозволить досягнути економічної ефективності теплозахисту зовнішньої стіни 38,97 грн/рік, термін окупності заходів із реконструкції складає 3,6 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іскра М. А., Швець В. В. Теплоізоляційна плитка для фасадів будівель, що працює за принципом термоса. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця 2010, № 2, с. 62-64.
2. Максименко М. А., Швець В. В. Аналіз існуючих способів захисту будівель від тепловтрат. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця 2014, № 2, с. 41-47.
3. Maksymenko M., Ryndiuk S., Shvets V. Investigation of thermal conductivity of multilayer building materials at products. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 2018, Vol. 7, no 2, p.9.
4. Максименко М. А., Риндюк С. В. Методологія дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, Вінниця 2018, № 2, с. 201-205.
5. Максименко М. А., Риндюк С. В., Швець В.В. Дослідження теплозахисних властивостей замкнутих повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції. *International Scientific and Practical Conference World science*, 2018, № 25, с. 37-40.
6. Максименко М. А., Швець В. В., Козак В. Ю. Моделювання проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця, 2019, № 1, с. 72-77.
7. Максименко М. А., Швець В. В. Використання тепловідбиваючих матеріалів для утеплення стін будівель. *XLIV регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області*. (Вінниця, 12-13 березня 2015 р.), Вінниця, 2015, с. 2. Електронний ресурс. Доступно: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inbtegp/mba.php>.
8. Максименко М. А, Швець В. В. Аналіз основних факторів, що впливають на теплову спроможність огорожуючих конструкцій. *Енергоефективність в галузях економіки України-2017*. Міжнародна науково-технічна конференція (Вінниця, 11 листопада 2017), Вінниця, 2017. Електронний ресурс. Доступно: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3416/2862>

9. Максименко М. А. Теплозахисні властивості замкнутих повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції. *Енергоефективність в галузях економіки України-2017*. Міжнародна науково-технічна конференція (Вінниця, 11 листопада 2017), Вінниця, 2017. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3415/2861>.
10. Максименко М. А. Роль відбиваючого екрану в термозахисних конструкціях. *XLVII Науково-технічна конференція факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання* (Вінниця, 12-14 березня 2018 р.) Вінниця, 2018, с. 2. Електронний ресурс. Доступно: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/21003/4347.pdf?sequence=3>.
11. Теплоізоляційна енерговідбиваюча панель. Пат. 142166 Україна: МПК Е 04 F 13/00, № 201908041, заяв. 12.07.2019, опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10.
12. Нагорний М.В. Ефективні енергозберігаючі конструкції малоповерхових житлових будинків : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Харк. акад. залізн. транс. Харків, 2001. 167с.
13. Рубашкина Т. И. Исследование эффективности современных утеплителей в многослойных ограждающих конструкциях зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01/ Ирк. гос. унив. путей сообщ., Чита, 2009. 189 С.
14. Аметистов Е. В. Основы теории теплообмена. М.: изд- во МЭИ, 2000. 42 с.
15. Дрейцер Г.А. Теплообмен при свободной конвекции: учеб.пособие, М.: изд- во МАИ, 2002. 387 с.
16. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 397 с.
17. Лыков А. В. Теория тепло- и массопереноса. М.: Госэнергоиздат, 1963. 599 с.
18. Ляликов А. С. Теплопередача со сложным теплообменом: учеб. пособие, Томск: ТПИ, 1982. 237 с.
19. Леонтьев А. И. Теория тепломассообмена, М.: Высшая школа, 1979, 567 с.
20. Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М. Теория тепло- и массообмена. М.: Госэнергоиздат, 1961. 680 с.
21. Волков Е. А. Численные методы: учебное пособие для вузов. М.: Наука, 1987. 346 с.
22. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: учеб. для втузов. М.: Энергоиздат, 1981. 248 с.
23. Лыков А. В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск:

- Наука и техника, 1961. 354 с.
24. Лыков А. В. Теплообмен. Справочник, 2-е изд., перераб. и доп., М.: Энергия, 1978. 349 с.
 25. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи: учеб. для вузов, 2-е изд., стереотип., М.: Энергия, 1977. 319 с.
 26. Михеев М. А., Михеева И. М., Основы теплопередачи: научное издание. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва, Россия: Бастет, 2010. 345 с.
 27. Лепилов В.И. Исследование коэффициента температуропроводности системы экранов для ограждающих конструкций. *Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы V Международной научной конференции*. Волгоград, 2007. С. 232-235.
 28. Кудинов И.В., Кудинов В.А., Котова Е.В., Кузнецова А.Э. Обобщение функции в задачах теплопроводности для многослойных конструкций. *Теплофизика высоких температур*. 2013. Т. 51, № 6. С. 912-922.
 29. Фаренюк Г. Г., Фаренюк Е. Г. Теплотехнические характеристики фасадных комбинированных систем. *Оконные технологии*, 2001, № 6, с. 35 - 45.
 30. Фомин С. Л. Фурсов Ю. В. Особенности конструирования дополнительной теплозащиты фасадных конструкций. *Науковий вісник будівництва*, 2007, Вип. 41, с. 290-294,.
 31. Видин Ю. В., В Иванов. В., Казаков Р. В. Инженерные методы расчета задач теплообмена. Красноярск, Россия: Сиб. федер. ун-т, 2014, 168 с.
 32. Пашинський В. А., Плотніков О. А. Експериментальні дослідження теплового режиму стін житлових будинків. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 2013, Вип. 27, с. 360-366.
 33. Adityaa L., Mahliaa T.M.I., Rismanchi B., Hasae M.H., Metselaar H.S.C., Oki Muraza, Aditiya H.B.. A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, №73, pp. 1352-1365. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.034>
 34. Aparicio-Fernández C., Vivancos J.-L., Ferrer-Gisbert P., Royo-Pastor R. Energy performance of a ventilated façade by simulation with experimental validation. *Applied Thermal Engineering*. 2014. № 66 (1-2). Pp. 563-570. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.041>
 35. Gagliano A., Patania F., Ferlito A., Nocera F., Galesi A. Computational Fluid Dynamic Simulations of Natural Convection in Ventilated Facades. *Evaporation*.

- Condensation and Heat transfer.* 2011. Pp. 349-374 DOI: <https://doi.org/10.5772/19817>
36. Glowinski R. Numerical methods for fluids. / *Handbook of numerical analysis.* Amsterdam Lions JL (eds) North-Holland, 2003. vol IX. Part 3. 524 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/zamm.19920721203>
 37. Guillén I., Gómez-Lozano V., Fran J.M., López-Jiménez P.A. Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype. *Energy and Buildings.* 2014. № 79. p. 184-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/ienbuild.2014.05.006>
 38. Hasanuzzaman M., Rahman M., Oztop H.F., Rahim N.A., Sidur R. Effects of Lewis number on heat and mass transfer in a triangular cavity. *Int Commun Heat Mass Transf.* 2012. № 39. Pp. 1213-1219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.07.002>
 39. Cooper D. Development of multi-layer insulation. *Insulat.* 1965, v. 9, № 5, 6.
 40. Bartas I. G., Mayer E. Estimation of temperature patterns in multiply-shielded systems. *Trans. ASME*, 1957, v. 19, № 8.
 41. Vortmeyer D., Kasperek G. Radiative heat transfer in packed beds. *Papers ISiME Semi-Intern.* Tokyo, 1967. № 4.
 42. Hering R. G. Radiative heat exchange between conducting plates with specular reflection. *Paper Amer. Soc. Mech. Engrs*, 1966, № HT-28.
 43. Yiyun Zhu and Xianling Wan, Thermal Insulation Performance of Radiant Barrier Roofs for Rural Buildings in the Qinba Mountains. *New Trends in Numerical Simulation and Data Analysis*, 2020, Volume 3 |Article ID 5612403 | <https://doi.org/10.1155/2020/5612403>
 44. Adrien Auberta, Fabien Candelierb, Camille Sollic. Numerical heat transfer analyses of a wavy-laminar falling film using moving curvilinear coordinates. *International Communications in Heat and Mass Transfer.* October 2012 Volume 39, Issue 8, , Pages 1073-1079
 45. Пазен О. Ю. Математичне моделювання процесів теплопереносу в багатошарових плоских конструкціях за умов пожеж: дис. канд. техн. наук. / 21.06.02. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2016. 189 с.
 46. Коган М. Г. Нестационарная теплопроводность в слоистых средах. *ЖТФ*, 1957, Т. 27, № 3, с. 522 - 531.

47. Коновалов В. И., Пахомов А. Н., Гатапова Н. Ц., Колиух А. Н. Методы решения задач тепломассопереноса. Теплопроводность и диффузия в неподвижной среде. Тамбов, Россия: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005, 80 с.
48. Фокин В. М. Научно-методологические основы определения теплофизических свойств материалов методом неразрушающего контроля: Монография. М.: Издательство «Машиностроение-1». 2003. 140 с.
49. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий, 4-е изд., перераб. и доп., М.: Стройиздат, 1973. 140 с.
50. Фокин В. М., Бойков Г. П., Видин Ю. В. Основы технической теплофизики: Монография. М.: Издательство «Машиностроение-1». 2004. 172 с.
51. Королева Т. И. Экономические обоснования оптимизации теплового режима здания: учебное пособие, М.: изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. 247 с.
52. Філоненко О. І., Юрін О. І., Будівельна теплофізика огорожувальних конструкцій будівель: Навч. Посібник. Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2015. 226 с
53. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 97 с.
54. Гільчук А.В., Халатов А.А., Доник Т.В. Теорія теплопровідності: навчальний посібник. Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Ігоря Сікорського), 2020. 153 с.
55. Шолудько В. П. Теплотехніка та використання теплоти: навч. носі́бник. Львів: Сполом., 2007. 190 с.
56. Блох А. Г. Основы теплообмена излучением. Л.: Гос-энергоиздат, 1962. 332 с.
57. Ильинский В. М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий): уч. пособие для инж.-строит. вузов. М., «Высш. школа», 1974. 320 с.
58. Богословский В.Н., Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учеб., М. : АВОК Северо-Запад, 2006. 415 с.
59. Васильев Б. Ф. Натурные исследования температурно-влажностного

- режима жилых зданий, М.: Госстройиздат, 1957.
60. Umnyakova N.P. Heat transfer through the building envelope taking account of the emissivity of the internal surfaces of the room. *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]*, 2014. No. 6, pp. 14-17.
 61. Плахотніков К. В. Мінеральне тонкошарове теплоізоляційне покриття з підвищеними фізико-механічними характеристиками [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. Харків, 2019. 166 с
 62. Теплоізоляція, що відображає. Технологія застосування, огляд виробників. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://jak.bono.odessa.ua/articles/teploizoljacija-shho-vidobrazhae-tehnologija.php>
 63. Отражающая изоляция [Електронний ресурс]. Доступно: http://www.galant.biz.ua/otr_izol.html
 64. Фольгированная теплоизоляция [Електронний ресурс]. Доступно: <https://thebuildy.com/reflective-thermal-insulation-materials-criteria-for-selection-and-installation-of-foil-for-the-bath-as-a-vapor-barrier-and-a-heater/>
 65. Kostyuk T., Vinnichenko V., A Plugin., Borziak O., Iefimenko A. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Issue 1, 7 p. doi:10.1088/1757-899X/1021/1/012016.
 66. Plakhotnikov K., Bondarenko D., Dedenyova E., Saliia M., Kostuk T. Heat-insulating materials in modern building industry. *In MATEC Web of Conferences*, 2018, 5 p. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002024>.
 67. Farenjuk G., Oleksienko O. Development of Methods for Determining the Term of Effective Exploitation of Thermal Insulation Materials for 100 Years. *Actual problems of engineering mechanics*, 2020, pp. 80-92.
 68. Фаренюк Г. Г., Олексієнко О. Б., Методика проведення досліджень атмосферостійкості та довговічності захисного матеріалу покриття. *Науково-технічний журнал «Наука та будівництво»*, 2020, 2(24), с. 3-10.
 69. Фасадна теплоізоляційна панель. 24990 У, МПК (2006), E04F 13/00. 2007 р. Бюл. № 11.

70. ДСТУ Б ГОСТ 16381:2011. Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Класифікація і загальні технічні вимоги (ГОСТ 16381-77, ІДТ). [Чинний від 2012-12-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2012, 87 с.
71. ДСТУ Б В.2.6-34. Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Класифікація й загальні технічні вимоги. [Чинний від 2009-06-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2008, 35 с.
72. ДСТУ Б В.2.6-36. Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови [Чинний від 2009-08-27]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2009, 35 с;
73. ДБН В.2.2-15-2005. Житлові будинки. [Чинний від 2006-01-1]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2009, 45 с
74. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-04-01]. Київ, Україна: Мінрегіонбуд. України, 2017, 37 с.
75. ДБН В.2.6.-33:2018. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації. [Чинний від 2009-06-01]. Київ, Україна: Мінрегіонбуд України, 2009, 21 с.
76. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ, Україна: Мінрегіонбуд України, 2017, 41 с.
77. ДСТУ-Н Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. [Чинний від 2010-10-01]. Київ, Україна: Мінрегіонбуд України, 2010, 84 с.
78. ДСТУ 4065-2001. Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2002-07-01]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2002. 33 с.
79. ДСТУ 4713:2007. Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації роботи. [Чинний від 2007-07-01]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2007. 38 с.
80. ДСТУ 4035-2001 (ГОСТ 25380-2001) Енергозбереження. Будівлі та споруди. Методи вимірювання поверхневої густини теплових потоків та визначення коефіцієнтів теплообміну між огорожувальними конструкціями та докільям. [Чинний від 2002-01-01]. Київ, Україна: Держстандарт

- України, 2002.
81. Хоменко О. Г. Енергозберігаючі технології в будівництві: навчальний електронний посібник. Глухів. 2019. 118 с.
 82. ДСТУ Б EN 12667:2016. Теплоізоляційні характеристики будівельних матеріалів і виробів. Випробування теплового опору методом гарячої захищеної пластини оснащеної тепломіром матеріалів з високим і середнім значеннями теплового опору. [Чинний від 2017-04-17]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2017. 133 с.
 83. ДСТУ ISO 8301:2007 Теплоізоляція. Визначення теплового опору та пов'язаних із ним характеристик в усталеному режимі приладом із перетворювачем теплового потоку (ISO 8301:1991, IDT). [Чинний від 2009-01-01. Київ, Україна: Держстандарт України, 2017. 133 с.
 84. Декуша Л., Воробьев Л., Грищенко Т., Декуша О., Пархоменко Г. Особенности проектирования малоинерционных ПТП для исследования нестационарного теплообмена. *Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий наук.-техн. збірник*. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. Вип. 68.С. 116-125.
 85. Бутова З., Воробйов Л., Декуша Л., Мендрул Г. Визначення тепловиділення та коефіцієнтів теплопровідності у процесі гідратації в'язучих матеріалів та бетонів на установці ИТ-7С. *Метрологія та прилади*. 2010. № 1. С. 15–19..
 86. Кривошеин А. Д. Федоров С. В. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. *Инженерно-строительный журнал*, 2010, № 8,с. 21 - 27.
 87. ДСТУ Б В.2.7-95-2000. (ГОСТ 6266-97) Листи гіпсокартонні. Технічні умови. на заміну ГОСТ 6266-89. [Чинний від 2000-07-01] Київ, Україна: Держстандарт України, 2000 р., 28 с.
 88. ДСТУ ГОСТ 10632:2009 (ГОСТ 10632-2007, IDT) Плити деревинно-стружкові Технічні умови. [Чинний від 2010-04-01], Київ, Україна: Держстандарт України, 2010 р., 36 с.
 89. ДСТУ Б В.2.7-110-2001 (ГОСТ 30698-2000)Скло загартоване будівельне. Технічні умови [Чинний від 2001-05-17] Київ, Україна: Держстандарт України, 2001 р., 30 с.
 90. ТУ 2246-004-89676115-2012 Листы сотовые поликарбонатные "ROYALPLAST", "PLASTILU", "POLYNEX", "SUNNEX" для теплиц,

- [Чинний від 2012-03-6], Київ, Україна: Держстандарт України, 2010 р., 36 с.
91. ДСТУ Б В.2.7-8-94. Плити пінополістирольні. Технічні умови. [Чинний від 1994-07-01], Київ, Україна: Держстандарт України, 2010 р., 32 с
 92. Б В.2.7-139:2007 (EN 1304:1998, MOD), (EN 1304:1998, MOD). СТУ. Строительные материалы. Черепица полимерпищаная. Технические условия (44037) [Чинний від 1996-01-01]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2008, 20 с.
 93. ДСТУ 2857-94 (ГОСТ 6616-94). Перетворювачі термоелектричні. Загальні технічні умови. [Чинний від 1996-01-01]. На заміну ГОСТ 6616-93. Київ, Україна: Держстандарт України, 1995, 44 с.
 94. ДСТУ EN 60584-1:2016. Перетворювачі термоелектричні. Частина 1. Технічні характеристики та допустимі відхилення електрорушійної сили (ЕРС) (EN 60584-1:2013, IDT). На заміну ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-94). [Чинний від 2016-11-01 01]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2016, 96 с.
 95. Рабинович С. Г. Погрешности измерений, М.: Энергия, 1978. 265 с.
 96. Риндюк С. В. Дудар І. Н. Дослідження теплофізичних характеристик утеплення конструкцій будівель та споруд. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*: науково-технічний збірник, 2013, № 4, с. 100 - 103.
 97. Процюк Б. В., Семерак Веселівський М. М., Р. Б., Синюта В. М. Дослідження нестационарного температурного поля в багатошаровій плоскій конструкції», *Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. Пожежна безпека*, 2012. № 20, с. 111-117.
 98. Вайнберг А. М. Математическое моделирование процессов переноса. Решение нелинейных краевых задач. Москва-Иерусалим: Едиториал, 2009. 210 с.
 99. Булавацкий В. М. Некласичні математичні моделі процесів тепло- та масо переносу. Наукова думка, 2005. 282 с.
 100. Нагорная А. Н. Математическое моделирование и исследование нестационарного теплового режима зданий: дис. канд. техн. наук: 05.13.18 / Южно-Урал. гос. унив., Челябинск, 2008. 189 с.
 101. Куценко О. С., Зацеркляний Г. А. Моделювання теплообміну через огорожувальні поверхні будівлі. *Вісник НТУ «ХПИ»*, 2013. № 3 (977), с. 129 -141.

102. Залужна Г. В. Математичне моделювання нестационарного переносу тепла в неоднорідному середовищі з використанням інтерлінації функцій: дис. канд. техн. наук: 01.05.02 / Укр. інж.-пед. акад., Харків, 2015. 190 с.
103. Федоткин И.М. Математическое моделирование технологических процессов: учебное пособие. Киев: Выща школа, 2001. 415 с.
104. Гембара Н. О. Математичне моделювання теплопровідності пластин і оболонок з багатошаровими покриттями: дис. канд. техн. наук. / 05.22.01. Укр. акад. друк., Львів, 2014. 197 с.
105. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Прямі вимірювання з багаторазовими спостереженнями. Методи обробки результатів спостережень. Основні положення. [Чинний від 2008-10-01]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2016. 13 с.
106. Маляренко В. А., Редько А. Ф., Чайка Ю. И., Поволочко В. Б. Техническая теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. Рубикон, 2001. 280 с.
107. Егоров В.И. Точные методы решения задач теплопроводности: Учебное пособие. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. 39 с.
108. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В., Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий, М: Наука, 1976. 280 с.
109. Калінчак В.В., Орловська С.Г., Черненко О.С. Фізика теплопровідності та експериментальні методи визначення коефіцієнту теплопровідності речовин. Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2012. 52 с.
110. ДСТУ Б В.2.7-48 Бетони. базовий (перший) метод визначення морозостійкості [Чинний від 2009-09-30]. Київ, Мінрегіонбуд України 2010. 109 с.
111. Виробництво полімер піщаних виробів . [Електронний ресурс]. Доступно: <https://myhata.in.ua/polimerpishhana-plitka-svoyimi-rukami-vigotovlennya.html>
112. Бизнес по производству полимерпесчаной плитки / [Электронный ресурс] <https://namillion.com/proizvodstvo-polimerpeschanoj-plitki.html>
113. Тротуарная плитка из пластиковых бутылок/ [Электронный ресурс] <https://promzn.ru/trotuarnaya-plitka/delat-iz-plastikovyyh-butyllok.html>
114. Технология производства полимерпесчанной черепицы. *Журнал «Кровля. Фасады. Изоляция.* 2009, No 5 [Электронный ресурс]

http://www.germstroy.ru/art_890.php

115. Монастырев П. В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий: Учебное пособие. М. Издательство АСВ, 2000.-160 с.
116. Технологічна карта на влаштування термопанелей «Поліфасад». [Електронний ресурс] <http://ua.polifasad-kiev.com/recommendation.html>
117. ДСТУ Б Д.2.2-15:2012 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 15. Оздоблювальні роботи. На заміну ДБН Д.2.2-15-99. [Чинний від 01.01.2014]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2014. 34 с.
118. ДБН А.3.1-5:2016 Державні будівельні норми України, Організація будівельного виробництва На заміну ДБН А.3.1-5-96. [Чинні від 2017-01-01]. Київ, Україна: Держстандарт України, 2016.
119. Меньлюк А.И., Дорофеев В.С., Лукашенко Л.Э., Москаленко В.И., Петровский А.Ф., Соха, В.Г. Современные фасадные системы: учебное пособие (Серия «Современное строительство»), «Освіта України», Киев, 2008. 340 с.
120. Энергосбережение в зданиях №20, 2004. Сборник центра энергосбережения КиевзНИИЭП.

ДОДАТОК А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні положення даної роботи були опубліковані в таких публікаціях:

Публікації у наукових фахових виданнях України та у виданнях, що цитуються Index Copernicus:

12. Іскра М. А., Швець В. В. Теплоізоляційна плитка для фасадів будівель, що працює за принципом термоса. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця 2010, № 2, с. 62-64.
13. Максименко М. А., Швець В. В. Аналіз існуючих способів захисту будівель від тепловтрат. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця 2014, № 2, с. 41-47.
14. Maksymenko M., Ryndiuk S., Shvets V. Investigation of thermal conductivity of multilayer building materials at products. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 2018, Vol. 7, no 2, p.9.
15. Максименко М. А., Риндюк С. В. Методологія дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, Вінниця 2018, № 2, с. 201-205.
16. Максименко М. А., Риндюк С. В., Швець В.В. Дослідження теплозахисних властивостей замкнених повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції. *International Scientific and Practical Conference World science*, 2018, № 25, с. 37-40.
17. Максименко М. А., Швець В. В., Козак В. Ю. Моделювання проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця, 2019, № 1, с. 72-77.

Праці апробаційного характеру:

18. Максименко М. А., Швець В. В. Використання тепловідбиваючих матеріалів для утеплення стін будівель. *XLIV регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників*

та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. (Вінниця, 12-13 березня 2015 р.), Вінниця, 2015, с. 2. Електронний ресурс. Доступно: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inbtegp/mba.php>.

19. Максименко М. А, Швець В. В. Аналіз основних факторів, що впливають на теплову спроможність огорожуючих конструкцій. *Енергоефективність в галузях економіки України-2017*. Міжнародна науково-технічна конференція (Вінниця, 11 листопада 2017), Вінниця, 2017. Електронний ресурс. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3416/2862>

20. Максименко М. А. Теплозахисні властивості замкнених повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції. *Енергоефективність в галузях економіки України-2017*. Міжнародна науково-технічна конференція (Вінниця, 11 листопада 2017), Вінниця, 2017. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3415/2861>.

21. Максименко М. А. Роль відбиваючого екрану в термозахисних конструкціях. *XLVII Науково-технічна конференція факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання* (Вінниця, 12-14 березня 2018 р.) Вінниця, 2018, с. 2. Електронний ресурс. Доступно: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/21003/4347.pdf?sequence=3>.

Патенти:

22. Теплоізоляційна енерговідбиваюча панель. Пат. 142166 Україна: МПК Е 04 F 13/00, № 201908041, заяв. 12.07.2019, опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10.

ДОДАТОК Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор департаменту міського
господарства Вінницької міськради

 В.М. Броварник

23 червня 2014 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук
Максименко Марини Аркадіївни

Даний акт свідчить про те, що отримані Максименко М. А. результати дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук використовуються в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради, який веде роботу по пошуку заміни природного газу альтернативними джерелами енергії, відповідно до заходів Стратегії розвитку «Вінниця-2020» – План дій зі сталого енергетичного розвитку, який передбачає скорочення викидів двоокису вуглецю та економію споживання енергії відповідно до Енергетичної політики Європи. До основних результатів дисертаційної роботи, що використовуються в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради, слід віднести такі:

1. Розроблено конструкцію нового будівельного виробу для оздоблення фасадів будівель, який має тепловідбиваючі властивості.
2. Запропоновано методику дослідження проходження теплового потоку через виріб, що має багат шарову конструкцію з тепловідбиваючим елементом

Результати дисертації Максименко М. А. будуть використані при розробці міської програми підвищення ефективності використання сучасних енергозберігаючих технологій

Заступник директора департаменту
енергетики, транспорту та зв'язку
Вінницької міськради



В.В. Поричук

ЗАТВЕРДЖУЮ:

ФОП Хмара В.В.

 Хмара В.В.
«14» 05 2019 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Максименко Марини Аркадіївни
на тему " ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ З ЗАСТОСУВАННЯМ
ЕКРАННОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ МІЖ НЕВЕНТИЛЬОВАНИМИ
ПОВІТРЯНИМИ ПРОШАРКАМИ "

Виданий Максименко М.А. про те що проведені нею дослідження в галузі енергозберігаючих конструкцій, виконаних із застосуванням екранованих неvented прошарків повітря у 2013-2019 р. були застосовані при виробництві фасадної енергозберігаючої плитки.

Фасадна теплоізоляційна панель складається з задньої, бічної і передньої стінки. Порожнини всередині каркасу заповнені нерухомим повітрям, розділеним на два прошарки тепловідбиваючим екраном.

Фіксацію панелей між собою здійснюють за допомогою входження виступів на верхній грані однієї панелі з западинами на нижній грані іншої панелі. Виконання такого типу стикування панелей забезпечує відсутність містків холоду і полегшує монтаж панелей.

Основою термопанелі вибрано полімерпіщану плитку.

Економічний ефект від впровадження наукових розробок склав 3700 грн./ 100 м². Термічний опір запропонованої плитки дорівнює 4,2 (м²С⁰)/Вт, що свідчить про її теплоізоляційні властивості крім гідроізоляційних.

ФОП «Хмара»

Представник ВНТУ:
асистент кафедри БМГА

 Хмара В.В.
 Максименко М.А.

ДОДАТОК В

Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з гіпсокартону з повітряними прошарками товщиною $x=10$ мм

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	63,1	55,6	54,2	58,1	57,7	55	53,1	61	56,9	57,19	57,7	55	53,1
1	58,6	54,3	53,3	57,6	55,5	54	52,8	57,2	54,5	55,31	55,5	54	52,8
2	51,9	51,5	50,8	50,8	49,6	51,3	53	50,4	50,9	51,13	49,6	51,3	53
3	47,9	48,3	48	48,1	49,5	49	50,3	48,1	48,6	48,64	49,5	49	50,3
4	31,5	31,9	32	32,3	33	33,1	33	33	33,2	32,56	33	33,1	33
5	29,7	30,4	30,5	30,7	31,1	31,3	31,3	31,3	31,4	30,86	31,1	31,3	31,3
6	25,2	25,8	25,8	26	26,2	26,3	26,4	26,6	26,6	26,10	26,2	26,3	26,4
7	22,9	23,1	23	23	23	23	23,2	23,3	23,3	20,84	23	23	23,2

$x=0,015$

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	63,3	63,2	56,1	63,4	54,8	60	55,5	53	57,1	58,49	63,4	54,8	60
1	59,3	55,3	53,5	56,3	53,5	56,6	53,9	52,6	54,5	55,06	56,3	53,5	56,6
2	53,3	49,7	50,7	50,6	51,3	51,6	51,7	51	50,1	51,11	50,6	51,3	51,6
3	46,1	43,3	44,5	44,2	45,1	45	45,5	45	44,3	44,78	44,2	45,1	45
4	30,4	29,8	30	30,1	30,2	30,3	30,5	30,5	30,5	30,26	30,1	30,2	30,3
5	29,5	29,3	29,5	29,6	29,9	30	30,1	30,1	30,1	29,79	29,6	29,9	30
6	25	25	25	25,1	25,3	25,3	25,3	25,3	25,4	25,19	25,1	25,3	25,3
7	22,8	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,62	22,6	22,6	22,6

$x=0,02$

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60	65
8	62,2	57,4	62	56,1	63,7	58,6	55,7	53,8	52,4	53,30	57,52	58,6	55,7
1	57,5	54,4	58	54,1	58,2	55,8	54	53	52	58,00	55,50	55,8	54
2	49,6	50,3	50,5	50,7	50,6	51,6	51,1	50,3	49,6	49,90	50,42	51,6	51,1
3	40,2	41,3	41,3	42	41,8	42	42,3	42,3	41,8	41,50	41,65	42	42,3
4	28,2	29,1	29,4	30,1	30,1	30,6	30,8	30,8	30,8	30,60	30,05	30,6	30,8
5	27,1	28	28,3	29,1	29,6	29,8	29,8	29,8	29,8	29,70	29,10	29,8	29,8
6	22,3	22,6	22,6	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,6	23,60	23,17	23,4	23,5
7	21	21,6	21,6	21,7	21,9	21,8	21,7	21,7	21,6	21,60	21,62	21,8	21,7

x=0,025

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	64,7	57,1	60,2	54,9	60,5	55,1	59	62,3	55,8	58,84	59	62,3	55,8
1	58,9	54,3	56,4	53,3	57,5	53,1	57,5	57	53,5	55,72	57,5	57	53,5
2	49,6	49,9	50,2	49,6	49,6	49,6	48,5	49	49,4	49,49	48,5	49	49,4
3	39,5	40,5	40,6	40,8	40,6	41	40,5	40,5	40,4	40,49	40,5	40,5	40,4
4	28,3	29,3	29,7	30,1	30,1	30,5	30,5	30,4	30,7	29,96	30,5	30,4	30,7
5	26,5	27,3	27,8	28,3	28,4	28	28,8	28,7	29	28,09	28,8	28,7	29
6	21,3	21,8	22,1	22,3	22,5	22,5	21,5	21,2	21,3	21,83	21,5	21,2	21,3
7	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21,00	21	21	21

x=0,03

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60	65
8	64,3	57,6	61,6	56,9	62,8	57,5	54	61,1	54,6	60,50	55,80	52,6	58,28
1	59	54,9	58	54,7	58	54,7	58,6	55	53	57,00	53,10	56,8	56,07
2	50,2	50,3	50,4	50,4	50,7	50,8	49,5	49,7	49,5	49,60	49,70	48,5	49,94
3	40,3	41	41	41,3	41,4	41,8	41	40,9	41,1	40,90	41,30	40,7	41,06
4	28,1	28,8	28	29,3	29,4	29,7	29,8	29,5	29,5	29,80	29,60	29,8	29,28
5	26,1	26,8	27	27,3	27,5	27,5	27,8	27,9	27,8	28,00	27,80	28	27,46
6	21,3	21,6	21,8	21,9	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,10	22,10	22,1	21,95
7	20,8	20	20	21,6	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,10	21,10	21,1	20,93

x=0,025

	5	10	25	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60,00	65,00
8	56,6	55,2	58,5	56,7	61,3	59,6	65,6	67,1	59	55,3	63,9	55,1	55,3
1	58,7	57,2	60,5	58,1	63,6	58,3	59,6	68,3	60,8	56,1	63,2	57,3	56,1
2	50,6	50,6	50,6	50	49,7	49,8	49,6	50,6	49,9	50	50,2	52,5	50
3	49,8	49,6	49,6	42,2	42	42,1	42,3	49,3	49,1	49,4	49,4	49,5	49,4
4	33,3	33,5	33,2	32,5	32,6	32,6	32,9	33,6	33,5	32,6	32,8	32,9	32,6
5	28,4	28,5	28,2	26	26,3	26,5	26,7	28,5	28,6	31,3	31,6	31,7	31,3
6	24	23,9	24,3	24	23,9	24,3	24,5	24	23,9	24,3	24	23,9	24,3
7	22,4	22,5	22,4	22,4	22,5	22,4	22,4	22,4	22,5	22,4	22,4	22,5	22,4

x=0,03

	5	10	25	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60,00	65,00
8	59,3	56,8	63	59,3	56,8	63	68,9	64,3	58,1	62,00	59,3	56,8	63
1	61	58,3	65,6	61	58,3	65,6	60,7	66,8	59,7	63,40	61	58,3	65,6
2	51,6	51,5	51	51,6	51,5	51	51,1	51	50,9	51,10	51,6	51,5	51
3	44,2	44,1	44,2	44,2	44,1	44,2	44,1	44,3	44,1	44,30	44,2	44,1	44,2
4	34,7	34,8	35,1	34,7	34,8	35,1	35,1	35,1	35,3	35,30	34,7	34,8	35,1
5	28,1	28,3	28,6	28,1	28,3	28,6	28,7	28,9	29	29,30	28,1	28,3	28,6
6	25	25,2	25,3	25	25,2	25,3	25,3	25,5	25,6	25,60	25	25,2	25,3
7	23,1	23,3	23,4	23,1	23,3	23,4	23,3	23,3	23,3	23,00	23,1	23,3	23,4

x=0,025

	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	52	60	54	52	60,3	53,3	53,4	55	53,1	52,4	61,6	54,5
1	54,8	57,8	56,8	54,8	59,3	55,3	60	56,9	55,1	54,4	60,2	56
2	54,5	57,3	56,2	54,5	59	55,1	56,5	56,1	55	54,5	56	56,1
3	52,8	55,2	54,2	52,8	56,5	53,3	54,5	54,1	53,2	52,6	53,9	53,5
4	36,3	36,3	36,4	36,3	36,6	36,9	37	37,3	37	37,1	37,3	37,6
5	29,4	29,1	29,3	29,4	29,5	29,8	29,8	29,8	30,1	30,2	30	30,4
6	27,3	27,1	27,3	27,3	27,3	27,6	27,8	28	28	28	28	28
7	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1

x=0,03

	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	50,3	50,7	58,8	52,3	50,3	63,9	58,8	52,3	50,3	63,9	52,3	50,3
1	52,3	53,6	58,1	54,5	52,3	61	58,1	54,5	52,3	61	54,5	52,3
2	52,3	53,5	55	53,9	52,3	56,8	55	53,9	52,3	56,8	53,9	52,3
3	50,6	51,3	52,3	52	50,6	54	52,3	52	50,6	54	52	50,6
4	33,8	33,5	33,7	33,9	33,8	34,5	33,7	33,9	33,8	34,5	33,9	33,8
5	26,7	26,3	26,5	26,6	26,7	26,9	26,5	26,6	26,7	26,9	26,6	26,7
6	26,7	26,3	26,5	26,6	26,7	26,9	26,5	26,6	26,7	26,9	26,6	26,7
7	24,5	24	23,7	23,8	24,5	25	23,7	23,8	24,5	25	23,8	24,5

ДОДАТОК Е

Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з полікарбонату з повітряними прошарками товщиною $x=10$ мм

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
8	68,9	54,4	76,5	73	53,3	73,3	75,7	63,8	62,3	61	59,8	58,9	68,9
1	67,5	56,1	61,2	68,7	54,5	69,3	66,3	64,8	63,1	62,2	61,2	60,3	67,5
2	61,4	53	53,8	60,8	51,6	61,5	60,6	60,7	59,6	58,6	67,7	56,8	61,4
3	56,8	51,3	50,2	56,5	50,3	57,5	56,7	57,8	57,1	56,4	55,7	55,1	56,8
4	31	30,6	29,2	30,1	29,7	30,3	29,7	31,2	31,2	31,1	31,1	31,2	31
5	34,5	33,7	31,4	33,7	32,8	34	33,5	34,8	34,8	34,8	34,7	34,6	34,5
6	23,6	23,5	23,2	23,4	23,6	23,3	23	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,6
7	20,4	20,3	20,4	20,5	20,5	20,4	20,6	20,5	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4

$x=0,015$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
8	65,1	76,2	73,1	82,4	71,2	68,2	84,5	70,3	65,5	80,5	73,4	76,2	73,1
1	65,3	66,7	67	64,6	65,2	69	66,7	64,5	69	66	66,7	66,7	67
2	60,8	56,5	58,2	58,8	58,7	59,8	60,5	60	61	61,2	61,6	56,5	58,2
3	56,1	52	53	53,6	54	54,6	55,2	55,4	56	56,3	56,8	52	53
4	25,3	25,2	25,3	25,3	25,4	25,5	25,6	25,6	25,8	25,9	26	25,2	25,3
5	28,5	27,9	28	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29	29,2	29,4	27,9	28
6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
7	19,2	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5

$x=0,020$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
8	73	81,7	72	66,7	73,6	67,6	64,3	81,5	77,2	69,6	65,6	66,6	66,7
1	64,6	65,3	69,2	67,3	64,7	67,6	65,5	63,1	68,1	68,6	66,5	64,5	67,3
2	60	59,5	60,3	60,8	60,3	60,7	60,6	60	59,7	60,6	60,9	60,5	60,8
3	53,7	53,5	53,8	54,1	54	54,2	54,3	54	53,9	54,2	54,4	54,3	54,1
4	24,2	24,2	24,3	24,3	24,3	24,5	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,3
5	25,8	25,8	25,9	25,9	25,9	26	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	25,9
6	20,6	20,6	20,6	20,7	20,9	21	21	21	21	21	21	21	20,7
7	19	19	18,9	18,9	19	19	18,9	18,9	18,9	18,8	18,9	18,9	18,9

x=0,025

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	65,1	76,2	73,1	82,4	71,2	68,2	84,5	70,3	65,5	80,5	73,4	76,2	73,1
1	65,3	66,7	67	64,6	65,2	69	66,7	64,5	69	66	66,7	66,7	67
2	60,8	56,5	58,2	58,8	58,7	59,8	60,5	60	61	61,2	61,6	56,5	58,2
3	56,1	52	53	53,6	54	54,6	55,2	55,4	56	56,3	56,8	52	53
4	25,3	25,2	25,3	25,3	25,4	25,5	25,6	25,6	25,8	25,9	26	25,2	25,3
5	28,5	27,9	28	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29	29,2	29,4	27,9	28
6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
7	19,2	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5

x=0,03

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	73	81,7	72	66,7	73,6	67,6	64,3	81,5	77,2	69,6	65,6	66,6	66,7
1	64,6	65,3	69,2	67,3	64,7	67,6	65,5	63,1	68,1	68,6	66,5	64,5	67,3
2	60	59,5	60,3	60,8	60,3	60,7	60,6	60	59,7	60,6	60,9	60,5	60,8
3	53,7	53,5	53,8	54,1	54	54,2	54,3	54	53,9	54,2	54,4	54,3	54,1
4	24,2	24,2	24,3	24,3	24,3	24,5	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,3
5	25,8	25,8	25,9	25,9	25,9	26	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	25,9
6	20,6	20,6	20,6	20,7	20,9	21	21	21	21	21	21	21	20,7
7	19	19	18,9	18,9	19	19	18,9	18,9	18,9	18,8	18,9	18,9	18,9

ДОДАТОК Є

Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з пінополістиролу з повітряними прошарками товщиною $x=10$ мм

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	63,1	55,6	54,2	58,1	57,7	55	53,1	61	56,9	57,19	57,7	55	53,1
1	58,6	54,3	53,3	57,6	55,5	54	52,8	57,2	54,5	55,31	55,5	54	52,8
2	51,9	51,5	50,8	50,8	49,6	51,3	53	50,4	50,9	51,13	49,6	51,3	53
3	47,9	48,3	48	48,1	49,5	49	50,3	48,1	48,6	48,64	49,5	49	50,3
4	31,5	31,9	32	32,3	33	33,1	33	33	33,2	32,56	33	33,1	33
5	29,7	30,4	30,5	30,7	31,1	31,3	31,3	31,3	31,4	30,86	31,1	31,3	31,3
6	25,2	25,8	25,8	26	26,2	26,3	26,4	26,6	26,6	26,10	26,2	26,3	26,4
7	22,9	23,1	23	23	23	23	23,2	23,3	23,3	20,84	23	23	23,2

$x=0,015$

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	63,3	63,2	56,1	63,4	54,8	60	55,5	53	57,1	58,49	63,4	54,8	60
1	59,3	55,3	53,5	56,3	53,5	56,6	53,9	52,6	54,5	55,06	56,3	53,5	56,6
2	53,3	49,7	50,7	50,6	51,3	51,6	51,7	51	50,1	51,11	50,6	51,3	51,6
3	46,1	43,3	44,5	44,2	45,1	45	45,5	45	44,3	44,78	44,2	45,1	45
4	30,4	29,8	30	30,1	30,2	30,3	30,5	30,5	30,5	30,26	30,1	30,2	30,3
5	29,5	29,3	29,5	29,6	29,9	30	30,1	30,1	30,1	29,79	29,6	29,9	30
6	25	25	25	25,1	25,3	25,3	25,3	25,3	25,4	25,19	25,1	25,3	25,3
7	22,8	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,62	22,6	22,6	22,6

$x=0,02$

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60	65
8	62,2	57,4	62	56,1	63,7	58,6	55,7	53,8	52,4	53,30	57,52	58,6	55,7
1	57,5	54,4	58	54,1	58,2	55,8	54	53	52	58,00	55,50	55,8	54
2	49,6	50,3	50,5	50,7	50,6	51,6	51,1	50,3	49,6	49,90	50,42	51,6	51,1
3	40,2	41,3	41,3	42	41,8	42	42,3	42,3	41,8	41,50	41,65	42	42,3
4	28,2	29,1	29,4	30,1	30,1	30,6	30,8	30,8	30,8	30,60	30,05	30,6	30,8
5	27,1	28	28,3	29,1	29,6	29,8	29,8	29,8	29,8	29,70	29,10	29,8	29,8
6	22,3	22,6	22,6	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,6	23,60	23,17	23,4	23,5
7	21	21,6	21,6	21,7	21,9	21,8	21,7	21,7	21,6	21,60	21,62	21,8	21,7

x=0,025

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	64,7	57,1	60,2	54,9	60,5	55,1	59	62,3	55,8	58,84	59	62,3	55,8
1	58,9	54,3	56,4	53,3	57,5	53,1	57,5	57	53,5	55,72	57,5	57	53,5
2	49,6	49,9	50,2	49,6	49,6	49,6	48,5	49	49,4	49,49	48,5	49	49,4
3	39,5	40,5	40,6	40,8	40,6	41	40,5	40,5	40,4	40,49	40,5	40,5	40,4
4	28,3	29,3	29,7	30,1	30,1	30,5	30,5	30,4	30,7	29,96	30,5	30,4	30,7
5	26,5	27,3	27,8	28,3	28,4	28	28,8	28,7	29	28,09	28,8	28,7	29
6	21,3	21,8	22,1	22,3	22,5	22,5	21,5	21,2	21,3	21,83	21,5	21,2	21,3
7	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21,00	21	21	21

x=0,03

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60	65
8	64,3	57,6	61,6	56,9	62,8	57,5	54	61,1	54,6	60,50	55,80	52,6	58,28
1	59	54,9	58	54,7	58	54,7	58,6	55	53	57,00	53,10	56,8	56,07
2	50,2	50,3	50,4	50,4	50,7	50,8	49,5	49,7	49,5	49,60	49,70	48,5	49,94
3	40,3	41	41	41,3	41,4	41,8	41	40,9	41,1	40,90	41,30	40,7	41,06
4	28,1	28,8	28	29,3	29,4	29,7	29,8	29,5	29,5	29,80	29,60	29,8	29,28
5	26,1	26,8	27	27,3	27,5	27,5	27,8	27,9	27,8	28,00	27,80	28	27,46
6	21,3	21,6	21,8	21,9	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,10	22,10	22,1	21,95
7	20,8	20	20	21,6	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,10	21,10	21,1	20,93

ДОДАТОК Ж

Результати експериментальної частини дослідження розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з полімерпіщаної плити з повітряними прошарками товщиною $x=10$ мм

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	63,1	55,6	54,2	58,1	57,7	55	53,1	61	56,9	57,19	57,7	55	53,1
1	58,6	54,3	53,3	57,6	55,5	54	52,8	57,2	54,5	55,31	55,5	54	52,8
2	51,9	51,5	50,8	50,8	49,6	51,3	53	50,4	50,9	51,13	49,6	51,3	53
3	47,9	48,3	48	48,1	49,5	49	50,3	48,1	48,6	48,64	49,5	49	50,3
4	31,5	31,9	32	32,3	33	33,1	33	33	33,2	32,56	33	33,1	33
5	29,7	30,4	30,5	30,7	31,1	31,3	31,3	31,3	31,4	30,86	31,1	31,3	31,3
6	25,2	25,8	25,8	26	26,2	26,3	26,4	26,6	26,6	26,10	26,2	26,3	26,4
7	22,9	23,1	23	23	23	23	23,2	23,3	23,3	20,84	23	23	23,2

$x=0,015$

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	63,3	63,2	56,1	63,4	54,8	60	55,5	53	57,1	58,49	63,4	54,8	60
1	59,3	55,3	53,5	56,3	53,5	56,6	53,9	52,6	54,5	55,06	56,3	53,5	56,6
2	53,3	49,7	50,7	50,6	51,3	51,6	51,7	51	50,1	51,11	50,6	51,3	51,6
3	46,1	43,3	44,5	44,2	45,1	45	45,5	45	44,3	44,78	44,2	45,1	45
4	30,4	29,8	30	30,1	30,2	30,3	30,5	30,5	30,5	30,26	30,1	30,2	30,3
5	29,5	29,3	29,5	29,6	29,9	30	30,1	30,1	30,1	29,79	29,6	29,9	30
6	25	25	25	25,1	25,3	25,3	25,3	25,3	25,4	25,19	25,1	25,3	25,3
7	22,8	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,62	22,6	22,6	22,6

$x=0,02$

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60	65
8	62,2	57,4	62	56,1	63,7	58,6	55,7	53,8	52,4	53,30	57,52	58,6	55,7
1	57,5	54,4	58	54,1	58,2	55,8	54	53	52	58,00	55,50	55,8	54
2	49,6	50,3	50,5	50,7	50,6	51,6	51,1	50,3	49,6	49,90	50,42	51,6	51,1
3	40,2	41,3	41,3	42	41,8	42	42,3	42,3	41,8	41,50	41,65	42	42,3
4	28,2	29,1	29,4	30,1	30,1	30,6	30,8	30,8	30,8	30,60	30,05	30,6	30,8
5	27,1	28	28,3	29,1	29,6	29,8	29,8	29,8	29,8	29,70	29,10	29,8	29,8
6	22,3	22,6	22,6	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,6	23,60	23,17	23,4	23,5
7	21	21,6	21,6	21,7	21,9	21,8	21,7	21,7	21,6	21,60	21,62	21,8	21,7

x=0,025



	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
8	64,7	57,1	60,2	54,9	60,5	55,1	59	62,3	55,8	58,84	59	62,3	55,8
1	58,9	54,3	56,4	53,3	57,5	53,1	57,5	57	53,5	55,72	57,5	57	53,5
2	49,6	49,9	50,2	49,6	49,6	49,6	48,5	49	49,4	49,49	48,5	49	49,4
3	39,5	40,5	40,6	40,8	40,6	41	40,5	40,5	40,4	40,49	40,5	40,5	40,4
4	28,3	29,3	29,7	30,1	30,1	30,5	30,5	30,4	30,7	29,96	30,5	30,4	30,7
5	26,5	27,3	27,8	28,3	28,4	28	28,8	28,7	29	28,09	28,8	28,7	29
6	21,3	21,8	22,1	22,3	22,5	22,5	21,5	21,2	21,3	21,83	21,5	21,2	21,3
7	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21,00	21	21	21



x=0,03



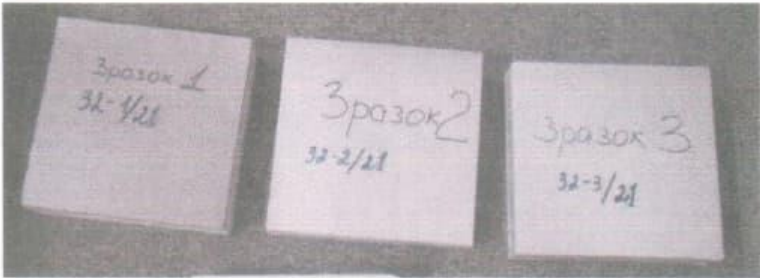


	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50,00	55,00	60	65
8	64,3	57,6	61,6	56,9	62,8	57,5	54	61,1	54,6	60,50	55,80	52,6	58,28
1	59	54,9	58	54,7	58	54,7	58,6	55	53	57,00	53,10	56,8	56,07
2	50,2	50,3	50,4	50,4	50,7	50,8	49,5	49,7	49,5	49,60	49,70	48,5	49,94
3	40,3	41	41	41,3	41,4	41,8	41	40,9	41,1	40,90	41,30	40,7	41,06
4	28,1	28,8	28	29,3	29,4	29,7	29,8	29,5	29,5	29,80	29,60	29,8	29,28
5	26,1	26,8	27	27,3	27,5	27,5	27,8	27,9	27,8	28,00	27,80	28	27,46
6	21,3	21,6	21,8	21,9	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,10	22,10	22,1	21,95
7	20,8	20	20	21,6	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,10	21,10	21,1	20,93




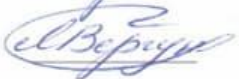
ДОДАТОК 3

	Державне підприємство „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій” (ДП НДІБК) 03037, м. Київ-37, вул. Преображенська, 5/2 Відділ будівельної фізики та енергоефективності	 2Т167 ДСТУ ISO/IEC 17025
Рівень документа ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ	Позначення ПРВ-217-7697-13к.21	
	Стор. 1 Всього 5	Дата 19.02.2021
<div data-bbox="938 488 1189 750" style="text-align: center;"> </div> <div data-bbox="1013 728 1380 869" style="text-align: center;"> <p>Олексієнко О.Б. «19» лютого 2021 р.</p> </div> <div data-bbox="400 1055 1401 1205" style="text-align: center;"> <p>ПРОТОКОЛ № 13к/21 кваліфікаційних випробувань з визначення теплоізоляційних характеристик замкнутих повітряних прошарків з відбиваючим шаром із алюмінієвої фольги теплоізоляційного виробу</p> </div> <div data-bbox="400 1413 1273 1541" style="text-align: center;"> <p>Виконавець: Відділ будівельної фізики та енергоефективності ДП НДІБК, атестат про акредитацію № 2Т167 від 24.09.2018р., виданий Національним агентством з акредитації України (м. Київ-37, вул. Преображенська, 5/2, ДП НДІБК)</p> </div> <div data-bbox="400 1599 1161 1693" style="text-align: center;"> <p>Замовник: Максименко Марина Аркадіївна Адреса: м. Вінниця, бульвар Свободи, буд. 8, кв. 42 Договір № 7697 від «15» лютого 2021 р.</p> </div> <div data-bbox="794 1872 922 1906" style="text-align: center;"> <p>Київ 2021</p> </div>		

	Державне підприємство „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій” (ДП НДІБК) 03037, м. Київ-37, вул. Преображенська, 5/2 Відділ будівельної фізики та енергоефективності	 2Т167 ДСТУ ISO/IEC 17025																		
Рівень документа ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ	Позначення ПРВ-217-7697-13к.21																			
	Стор. 2 Всього 5	Дата 19.02.2021																		
<p>1. Підстави для проведення випробувань: Договір № 7697 від «15» лютого 2021 р.</p> <p>2. Нормативні посилання: перелік нормативних документів, на які є посилання у цьому протоколі, наведено у таблиці 1.</p> <p>Таблиця 1 – Перелік нормативних документів</p>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="391 750 726 817">Позначення нормативних документів</th> <th data-bbox="726 750 1465 817">Назви нормативних документів</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="391 817 726 862">ДБН В.2.6-31:2016</td> <td data-bbox="726 817 1465 862">Теплова ізоляція будівель</td> </tr> <tr> <td data-bbox="391 862 726 974">ДСТУ Б В.2.7-182: 2009</td> <td data-bbox="726 862 1465 974">Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах</td> </tr> <tr> <td data-bbox="391 974 726 1041">ДСТУ Б В.2.7-38-95</td> <td data-bbox="726 974 1465 1041">Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань</td> </tr> <tr> <td data-bbox="391 1041 726 1086">ДСТУ 4179-2003</td> <td data-bbox="726 1041 1465 1086">Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови</td> </tr> <tr> <td data-bbox="391 1086 726 1176">ДСТУ Б В.2.7-105-2000</td> <td data-bbox="726 1086 1465 1176">Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="391 1176 726 1243">ДСТУ EN 13190:2018 (EN 13190:2001, IDT)</td> <td data-bbox="726 1176 1465 1243">Термометры со шкалой</td> </tr> <tr> <td data-bbox="391 1243 726 1310">ДСТУ EN 45501:2007</td> <td data-bbox="726 1243 1465 1310">Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="391 1310 726 1433">ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)</td> <td data-bbox="726 1310 1465 1433">Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики)</td> </tr> </tbody> </table>			Позначення нормативних документів	Назви нормативних документів	ДБН В.2.6-31:2016	Теплова ізоляція будівель	ДСТУ Б В.2.7-182: 2009	Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах	ДСТУ Б В.2.7-38-95	Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань	ДСТУ 4179-2003	Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови	ДСТУ Б В.2.7-105-2000	Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.	ДСТУ EN 13190:2018 (EN 13190:2001, IDT)	Термометры со шкалой	ДСТУ EN 45501:2007	Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.	ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)	Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики)
Позначення нормативних документів	Назви нормативних документів																			
ДБН В.2.6-31:2016	Теплова ізоляція будівель																			
ДСТУ Б В.2.7-182: 2009	Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах																			
ДСТУ Б В.2.7-38-95	Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань																			
ДСТУ 4179-2003	Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови																			
ДСТУ Б В.2.7-105-2000	Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.																			
ДСТУ EN 13190:2018 (EN 13190:2001, IDT)	Термометры со шкалой																			
ДСТУ EN 45501:2007	Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.																			
ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)	Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики)																			
<p>3. Мета випробувань: проведення випробувань теплоізоляційних характеристик замкнутих повітряних прошарків з відбиваючим шаром із алюмінієвої фольги.</p> <p>4. Випробування проводились 16.02.2021 р. – 19.02.2021 р. згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-105-2000, ДСТУ Б В.2.7-182:2009 за адресою: м. Київ, вул. М. Кривоноса 2, б.</p> <p>5. Зразки надані: Максименко Марина Аркадіївна. Акт відбору зразків від 16.02.2021 р.</p> <p>6. Зразки отримані 16.02.2021 р. та зареєстровані у журналі під № 32/21.</p> <p>7. Результати візуального обстеження перед випробуваннями: якісний зовнішній вид, без дефектів та механічних пошкоджень, <u>допускається на випробування.</u></p>																				

	Державне підприємство „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій” (ДП НДІБК) 03037, м. Київ-37, вул. Преображенська, 5/2 Відділ будівельної фізики та енергоефективності	 21167 ДСТУ ISO/IEC 17025																																																				
Рівень документа ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ	Позначення ПРВ-217-7697-13к.21																																																					
	Стор. 3 Всього 5	Дата 19.02.2021																																																				
8. Тип та основні характеристики обладнання: перелік обладнання наведено у таблиці 2.																																																						
Таблиця 2 – Тип і характеристики випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Назва випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки</th> <th rowspan="2">Заводський номер</th> <th colspan="2">Дата калібрування</th> <th rowspan="2">Номер свідоцтва</th> </tr> <tr> <th>Остання</th> <th>Наступна</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Система збору даних Agilent 34970A</td> <td>MY440518 33</td> <td>11.2020</td> <td>11.2021</td> <td>UA/24/201102/ 5088</td> </tr> <tr> <td>Термоелектричні перетворювачі хромель-копель, ТХК, згідно з ДСТУ EN 60584-1:2016, похибка вимірювань $\pm 0,2$ °C</td> <td>01...20</td> <td>07.2020</td> <td>07.2021</td> <td>UA/24/300731/3 733</td> </tr> <tr> <td>Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів IT-7C згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000, точність 3%</td> <td>04</td> <td>07.2020</td> <td>07.2021</td> <td>24-2/2954</td> </tr> <tr> <td>Гігрометр психрометричний ВІТ-1</td> <td>Д816</td> <td>07.2020</td> <td>07.2021</td> <td>UA/24/200720/ 3470</td> </tr> <tr> <td>Барометр-анероїд БАММ-1</td> <td>101518</td> <td>02.2020</td> <td>02.2021</td> <td>UA/39/200203/ 0149</td> </tr> <tr> <td>Неавтоматичний зважувальний прилад Днепровес</td> <td>74</td> <td>01.2020</td> <td>01.2021</td> <td>UA/35/200123/7 223</td> </tr> <tr> <td>Рудетка вимірювальна металева</td> <td>1</td> <td>02.2020</td> <td>02.2021</td> <td>UA/23/200206/0 00265</td> </tr> <tr> <td>Камера для теплової обробки HPS-222</td> <td>3585060</td> <td>06/2020</td> <td>06.2021</td> <td>UA/24/200618/2 919</td> </tr> <tr> <td>Штангенциркуль, ШЦ-І згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009</td> <td>078538</td> <td>09.2020</td> <td>09.2021</td> <td>UA/200903 /002437</td> </tr> </tbody> </table>			Назва випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки	Заводський номер	Дата калібрування		Номер свідоцтва	Остання	Наступна	Система збору даних Agilent 34970A	MY440518 33	11.2020	11.2021	UA/24/201102/ 5088	Термоелектричні перетворювачі хромель-копель, ТХК, згідно з ДСТУ EN 60584-1:2016, похибка вимірювань $\pm 0,2$ °C	01...20	07.2020	07.2021	UA/24/300731/3 733	Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів IT-7C згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000, точність 3%	04	07.2020	07.2021	24-2/2954	Гігрометр психрометричний ВІТ-1	Д816	07.2020	07.2021	UA/24/200720/ 3470	Барометр-анероїд БАММ-1	101518	02.2020	02.2021	UA/39/200203/ 0149	Неавтоматичний зважувальний прилад Днепровес	74	01.2020	01.2021	UA/35/200123/7 223	Рудетка вимірювальна металева	1	02.2020	02.2021	UA/23/200206/0 00265	Камера для теплової обробки HPS-222	3585060	06/2020	06.2021	UA/24/200618/2 919	Штангенциркуль, ШЦ-І згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009	078538	09.2020	09.2021	UA/200903 /002437
Назва випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки	Заводський номер	Дата калібрування			Номер свідоцтва																																																	
		Остання	Наступна																																																			
Система збору даних Agilent 34970A	MY440518 33	11.2020	11.2021	UA/24/201102/ 5088																																																		
Термоелектричні перетворювачі хромель-копель, ТХК, згідно з ДСТУ EN 60584-1:2016, похибка вимірювань $\pm 0,2$ °C	01...20	07.2020	07.2021	UA/24/300731/3 733																																																		
Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів IT-7C згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000, точність 3%	04	07.2020	07.2021	24-2/2954																																																		
Гігрометр психрометричний ВІТ-1	Д816	07.2020	07.2021	UA/24/200720/ 3470																																																		
Барометр-анероїд БАММ-1	101518	02.2020	02.2021	UA/39/200203/ 0149																																																		
Неавтоматичний зважувальний прилад Днепровес	74	01.2020	01.2021	UA/35/200123/7 223																																																		
Рудетка вимірювальна металева	1	02.2020	02.2021	UA/23/200206/0 00265																																																		
Камера для теплової обробки HPS-222	3585060	06/2020	06.2021	UA/24/200618/2 919																																																		
Штангенциркуль, ШЦ-І згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009	078538	09.2020	09.2021	UA/200903 /002437																																																		
9. Характеристика зразків та особливості поведінки під час випробувань.																																																						
Зразок № 32/21 (в кількості 3 шт - № 32-1/21, № 32-2/21, № 32-3/21) – зразки теплоізоляційного виробу у формі паралелепіпедів розмірами 300×300 мм товщиною 60 мм (рисунок 1). Теплоізоляційний виріб складає собою:																																																						
<ul style="list-style-type: none"> – шар з екструдованого пінополістиролу товщиною 20 мм; – повітряний прошарок товщиною 10 мм; – фольговий матеріал; – повітряний прошарок товщиною 10 мм; – шар з екструдованого пінополістиролу товщиною 20 мм. 																																																						

	Державне підприємство „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій” (ДП НДІБК) 03037, м. Київ-37, вул. Преображенська, 5/2 Відділ будівельної фізики та енергоефективності	 2Т167 ДСТУ ISO/IEC 17025
Рівень документа ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ	Позначення ПРВ-217-7697-13к.21 Стр. 4 Всього 5 Дата 19.02.2021	
<p>Зразок № 32-4/21 – екструдований пінополістирол у формі паралелепіпеду розмірами 300×300 мм товщиною 60 мм (рисунок 2).</p>		
<p>Загальний вигляд випробуваних зразків показано на рис. 1 – 2.</p>		
		
<p>Рисунок 1 – Загальний вигляд дослідних зразків № 32/20</p>		
		
<p>Рисунок 2 – Загальний вигляд дослідного зразка № 32-4/20</p>		
<p>Загальний вигляд випробувальної установки наведено на рис. 2.</p>		
		
<p>Рисунок 2 – Загальний вигляд випробувальної установки під час випробування</p> <p>10. Умови проведення випробувань: $t_n = +(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $\varphi = (55 \pm 5) \%$, $P = 97,1-101,7 \text{ кПа}$.</p>		

	Державне підприємство „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій” (ДП НДІБК) 03037, м. Київ-37, вул. Преображенська, 5/2 Відділ будівельної фізики та енергоефективності	 ЗТ167 ДСТУ ISO/IEC 17025																					
Рівень документа ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ	Позначення ПРВ-217-7697-13к.21																						
	Стор. 5 Всього 5	Дата 19.02.2021																					
<p>де t_n – температура внутрішнього повітря в приміщенні, ϕ – вологість повітря в приміщенні, P – атмосферний тиск повітря в приміщенні.</p> <p>11. Результати випробувань.</p> <p>11.1 Визначення теплоізоляційних характеристик при температурі $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.</p> <p>Результати випробувань теплоізоляційних характеристик наведені у таблиці 3 – 4.</p> <p>Таблиця 3 – Результати випробувань термічного опору при температурі $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в горизонтальному положенні теплоізоляційного виробу</p>																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>№ зразка</th> <th>Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$</th> <th>Середня густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$</th> <th>Середня температура зразків при випробуванні</th> <th>Термічний опір, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$</th> <th>Середнє значення термічного опору, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>32-1/20</td> <td>25,99</td> <td rowspan="3">26,61</td> <td rowspan="3">$+25\text{ }^{\circ}\text{C}$</td> <td>1,869</td> <td rowspan="3">1,83</td> </tr> <tr> <td>32-2/20</td> <td>26,49</td> <td>1,801</td> </tr> <tr> <td>32-3/20</td> <td>26,34</td> <td>1,829</td> </tr> </tbody> </table>	№ зразка	Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня температура зразків при випробуванні	Термічний опір, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$	Середнє значення термічного опору, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$	32-1/20	25,99	26,61	$+25\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,869	1,83	32-2/20	26,49	1,801	32-3/20	26,34	1,829					
№ зразка	Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня температура зразків при випробуванні	Термічний опір, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$	Середнє значення термічного опору, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$																		
32-1/20	25,99	26,61	$+25\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,869	1,83																		
32-2/20	26,49			1,801																			
32-3/20	26,34			1,829																			
<p>Таблиця 3 – Результати випробувань теплопровідності при температурі $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в горизонтальному положенні теплоізоляційного матеріалу з екструдованого пінополістиролу</p>																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>№ зразка</th> <th>Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$</th> <th>Середня температура зразків при випробуванні</th> <th>Теплопровідність $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$</th> <th>Термічний опір, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>32-4/20</td> <td>27,28</td> <td>$+25\text{ }^{\circ}\text{C}$</td> <td>0,0360</td> <td>1,66</td> </tr> </tbody> </table>	№ зразка	Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня температура зразків при випробуванні	Теплопровідність $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	Термічний опір, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$	32-4/20	27,28	$+25\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,0360	1,66													
№ зразка	Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня температура зразків при випробуванні	Теплопровідність $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	Термічний опір, $\text{м}^2\text{ К}/\text{Вт}$																			
32-4/20	27,28	$+25\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,0360	1,66																			
<p>Висновок. Термічний опір замкнутих повітряних прошарків товщиною по 10 мм в кількості 2 шт. при горизонтальному розташуванні та встановленні між ними алюмінієвої фольги становить $R = 0,71\text{ м}^2\text{ К}/\text{Вт}$.</p>																							
Завідувач лабораторії				Олексієнко О.Б.																			
Відповідальний виконавець інженер 1 категорії				Вергун Л.Ю.																			
<p>Протокол випробувань стосується тільки зразків, підданих випробуванням. Повне або часткове передрукування протоколу без дозволу випробувальної лабораторії не допускається. Протокол складається з п'яти сторінок.</p>																							

ДОДАТОК К

	Державне підприємство „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій” (ДП НДІБК) 03037, м. Київ-37, вул. Преображенська, 5/2	Стор. 1 Всього 10
Вид документа	ВИСНОВОК	Позначення ВНД-217-7697.21-003
	Статус ФІН	Ред. 01 Дата 19.02.2021



Директор ДП НДІБК
докт. техн. наук, професор

Г. Г. Фаренюк

«19» лютого 2021 р.

ВИСНОВОК




За результатами випробувань теплоізоляційних характеристик замкнутих повітряних прошарків з відбиваючим шаром із алюмінієвої фольги


Договір № 7697 від 15.02.2021 р.


В.о. зав. відділу
будівельної фізики
та енергоефективності,
канд. техн. наук


О. Б. Олексієнко


КИЇВ – 2021


	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності	Стор. 2 Всього 10			
Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003			
		<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1070 387 1198 450">Статус ФІН</td> <td data-bbox="1201 387 1329 450">Ред 01</td> <td data-bbox="1332 387 1500 450">Дата 19.02.2021</td> </tr> </table>	Статус ФІН	Ред 01	Дата 19.02.2021
Статус ФІН	Ред 01	Дата 19.02.2021			
СПИСОК АВТОРІВ					
В.о. зав. відділом будівельної фізики та енергоефективності, канд. техн. наук		Олексієнко О. Б.			
Інженер I категорії лабораторії будівельної теплотехніки та акустики канд. фіз-мат. наук		Вергун Л. Ю.			

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності	Стор. 3 Всього 10		
Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003		
		Статус ФІН	Ред 01	Дата 19.02.2021
ЗМІСТ				
				С.
ВСТУП				4
1	Проведення випробувань з визначення теплоізоляційних характеристик замкнутих повітряних прошарків з відбиваючим шаром із алюмінієвої фольги.....			5
ВИСНОВКИ.....				10

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності	Стор. 4 Всього 10
Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003 Статус ФІН Ред 01 Дата 19.02.2021
ВСТУП		
<p>Підставою для виконання даної роботи є договір № 7697 від 15 лютого 2021 р. між ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» і Максименко Мариною Аркадіївною.</p>		
<p>Мета роботи – проведення випробувань теплоізоляційних характеристик замкнутих повітряних прошарків з відбиваючим шаром із алюмінієвої фольги.</p>		
<p>Завдання роботи – проведення лабораторних випробувань з визначення термічного опору теплоізоляційного виробу з замкнутими повітряними прошарками з відбиваючим шаром з алюмінієвою фольгою.</p>		
<p>Перелік нормативних документів наведено у таблиці 1.</p>		
<p>Таблиця 1 – Перелік нормативних документів</p>		
Позначення нормативних документів	Назви нормативних документів	
ДБН В.2.6-31:2016	Теплова ізоляція будівель	
ДСТУ Б В.2.7-182: 2009	Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах	
ДСТУ Б В.2.7-38-95	Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань	
ДСТУ 4179-2003	Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови	
ДСТУ Б В.2.7-105-2000	Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.	
ДСТУ EN 13190:2018 (EN 13190:2001, IDT)	Термометры со шкалой	
ДСТУ EN 45501:2007	Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.	
ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)	Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики)	

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності		Стор. 5 Всього 10																							
	Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003																							
		Статус ФІН	Ред 01	Дата 19.02.2021																						
1 ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТИХ ПОВІТРЯНИХ ПРОШАРКІВ З ВІДБИВАЮЧИМ ШАРОМ ІЗ АЛЮМІНІЄВОЇ ФОЛЬГИ																										
<p>Випробування проводилися 16.02.2021 р. – 19.02.2021 р. згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-105-2000, ДСТУ Б В.2.7-182:2009.</p> <p>Зразки надані Максименко Марина Аркадіївна. Зразки отримані 16.02.2021 р. та зареєстровані у журналі під № 32/21. Акт відбору зразків від 16.02.2021 р.</p> <p>Результати візуального обстеження перед випробуваннями – якісний зовнішній вид, без дефектів та механічних пошкоджень, <u>допускається на випробування.</u></p> <p>Показник, що визначався під час випробувань, - термічний опір теплоізоляційного виробу в горизонтальному положенні.</p> <p>Тип та основні характеристики обладнання: перелік обладнання наведено у таблиці 2.</p> <p>Таблиця 2 – Тип і характеристики випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки</p>																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Назва випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки</th> <th rowspan="2">Заводський номер</th> <th colspan="2">Дата калібрування</th> <th rowspan="2">Номер свідоцтва</th> </tr> <tr> <th>Остання</th> <th>Наступна</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Система збору даних Agilent 34970A</td> <td>MY440518 33</td> <td>11.2020</td> <td>11.2021</td> <td>UA/24/201102/ 5088</td> </tr> <tr> <td>Термоелектричні перетворювачі хромель-копель, ТХК, згідно з ДСТУ EN 60584÷1:2016, похибка вимірювань $\pm 0,2$ °C</td> <td>01...20</td> <td>07.2020</td> <td>07.2021</td> <td>UA/24/300731/3 733</td> </tr> <tr> <td>Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів IT-7C згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000, точність 3%</td> <td>04</td> <td>07.2020</td> <td>07.2021</td> <td>24-2/2954</td> </tr> </tbody> </table>					Назва випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки	Заводський номер	Дата калібрування		Номер свідоцтва	Остання	Наступна	Система збору даних Agilent 34970A	MY440518 33	11.2020	11.2021	UA/24/201102/ 5088	Термоелектричні перетворювачі хромель-копель, ТХК, згідно з ДСТУ EN 60584÷1:2016, похибка вимірювань $\pm 0,2$ °C	01...20	07.2020	07.2021	UA/24/300731/3 733	Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів IT-7C згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000, точність 3%	04	07.2020	07.2021	24-2/2954
Назва випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки	Заводський номер	Дата калібрування		Номер свідоцтва																						
		Остання	Наступна																							
Система збору даних Agilent 34970A	MY440518 33	11.2020	11.2021	UA/24/201102/ 5088																						
Термоелектричні перетворювачі хромель-копель, ТХК, згідно з ДСТУ EN 60584÷1:2016, похибка вимірювань $\pm 0,2$ °C	01...20	07.2020	07.2021	UA/24/300731/3 733																						
Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів IT-7C згідно з ДСТУ Б В.2.7-105-2000, точність 3%	04	07.2020	07.2021	24-2/2954																						

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності			Стор. 6 Всього 10																														
	Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003																															
	Статус ФІН	Ред 01	Дата 19.02.2021																															
<table border="1"> <tr> <td>Гігрометр психрометричний ВІТ-1</td> <td>Д816</td> <td>07.2020</td> <td>07.2021</td> <td>UA/24/200720/ 3470</td> </tr> <tr> <td>Барометр-анероїд БАММ-1</td> <td>101518</td> <td>02.2020</td> <td>02.2021</td> <td>UA/39/200203/ 0149</td> </tr> <tr> <td>Неавтоматичний зважувальний прилад Днепровес</td> <td>74</td> <td>01.2021</td> <td>01.2022</td> <td>UA/35/200123/7 223</td> </tr> <tr> <td>Рулетка вимірювальна металева</td> <td>1</td> <td>02.2020</td> <td>02.2021</td> <td>UA/23/200206/0 00265</td> </tr> <tr> <td>Камера для теплової обробки НПС-222</td> <td>3585060</td> <td>06.2020</td> <td>06.2021</td> <td>UA/24/200618/2 919</td> </tr> <tr> <td>Штангенциркуль, ШЦ-I згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009</td> <td>078538</td> <td>09.2020</td> <td>09.2021</td> <td>UA/200903 /002437</td> </tr> </table>					Гігрометр психрометричний ВІТ-1	Д816	07.2020	07.2021	UA/24/200720/ 3470	Барометр-анероїд БАММ-1	101518	02.2020	02.2021	UA/39/200203/ 0149	Неавтоматичний зважувальний прилад Днепровес	74	01.2021	01.2022	UA/35/200123/7 223	Рулетка вимірювальна металева	1	02.2020	02.2021	UA/23/200206/0 00265	Камера для теплової обробки НПС-222	3585060	06.2020	06.2021	UA/24/200618/2 919	Штангенциркуль, ШЦ-I згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009	078538	09.2020	09.2021	UA/200903 /002437
Гігрометр психрометричний ВІТ-1	Д816	07.2020	07.2021	UA/24/200720/ 3470																														
Барометр-анероїд БАММ-1	101518	02.2020	02.2021	UA/39/200203/ 0149																														
Неавтоматичний зважувальний прилад Днепровес	74	01.2021	01.2022	UA/35/200123/7 223																														
Рулетка вимірювальна металева	1	02.2020	02.2021	UA/23/200206/0 00265																														
Камера для теплової обробки НПС-222	3585060	06.2020	06.2021	UA/24/200618/2 919																														
Штангенциркуль, ШЦ-I згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009	078538	09.2020	09.2021	UA/200903 /002437																														
<p>Характеристика зразків та особливості поведінки під час випробувань наведено нижче:</p> <p><i>Зразок № 32/21</i> (в кількості 3 шт - № 32-1/21, № 32-2/21, № 32-3/21) – зразки теплоізоляційного виробу у формі паралелепіпедів розмірами 300×300 мм товщиною 60±1 мм (рисунок 1). Теплоізоляційний виріб складає собою:</p> <ul style="list-style-type: none"> – шар з екструдованого пінополістиролу товщиною 20 мм; – повітряний прошарок товщиною 10 мм; – фольговий матеріал; – повітряний прошарок товщиною 10 мм; – шар з екструдованого пінополістиролу товщиною 20 мм. <p><i>Зразок № 32-4/21</i> – екструдований пінополістирол у формі паралелепіпеду розмірами 300×300 мм товщиною 60±1 мм (рисунок 2).</p> <p>Загальний вигляд випробуваних зразків показано на рис. 1 – 2.</p>																																		

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності	Стор. 7 Всього 10
	Найменування документа: ВИСНОВОК	Позначення ВНД-217-7697.21-003

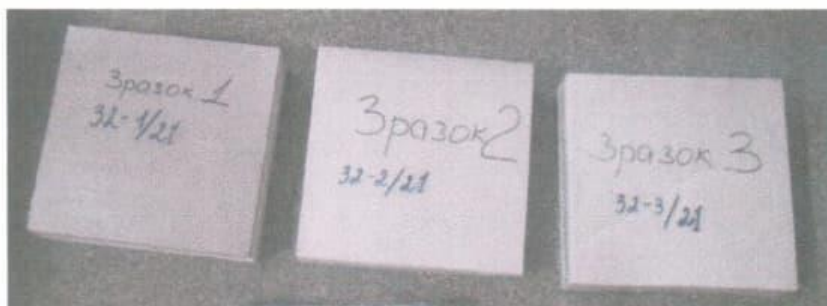


Рисунок 1 – Загальний вигляд дослідних зразків № 32/20



Рисунок 2 – Загальний вигляд дослідного зразка № 32-4/20

Загальний вигляд випробувальної установки наведено на рис. 3.

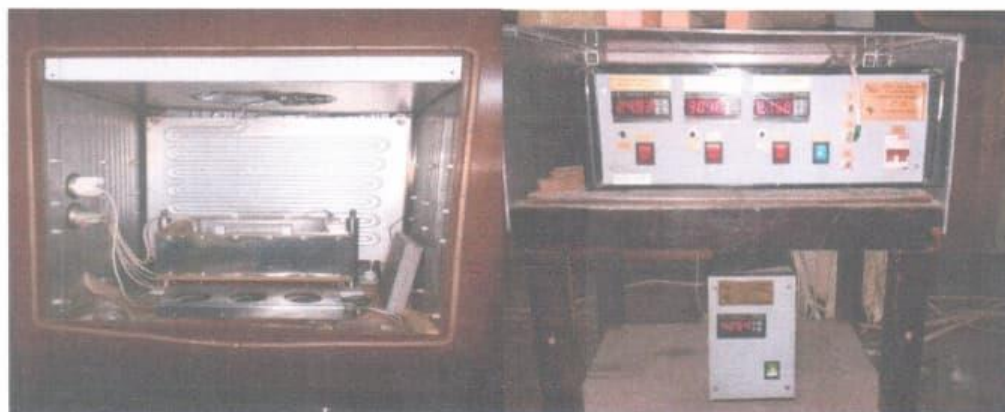





Рисунок 3 – Загальний вигляд випробувальної установки під час випробування

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності		Стор. 8 Всього 10		
	Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003		
		Статус ФІН	Ред 01	Дата 19.02.2021	
<p>Умови проведення випробувань:</p> <p>$t_n = +(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, $\phi = (55 \pm 5)\%$, $P = 97,1-101,7$ кПа.</p> <p>де t_n – температура внутрішнього повітря в приміщенні, ϕ – вологість повітря в приміщенні, P – атмосферний тиск повітря в приміщенні.</p> <p>Результати випробувань наведені у таблиці 3 – 4.</p> <p>Таблиця 3 – Результати випробувань термічного опору при температурі $+25^\circ\text{C}$ в горизонтальному положенні теплоізоляційного виробу</p>					
№ зразка	Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня температура зразків при випробуванні	Термічний опір, $\text{м}^2 \text{K}/\text{Вт}$	Середнє значення термічного опору $\text{м}^2 \text{K}/\text{Вт}$
32-1/20	25,99	26,61	$+25^\circ\text{C}$	1,869	1,83
32-2/20	26,49			1,801	
32-3/20	26,34			1,829	
<p>Таблиця 3 – Результати випробувань теплопровідності при температурі $+25^\circ\text{C}$ в горизонтальному положенні теплоізоляційного матеріалу з екструдованого пінополістиролу</p>					
№ зразка	Густина випробувальних зразків, $\text{кг}/\text{м}^3$	Середня температура зразків при випробуванні	Теплопровідність, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$		
32-4/20	27,28	$+25^\circ\text{C}$	0,0360		

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності	Стор. 9 Всього 10
Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003
		Статус ФІН
		Ред 01
		Дата 19.02.2021
<p>Термічний опір:</p> <ul style="list-style-type: none"> – зразок № 32/20 – $R = 1,83 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$; – зразок № 32-4/20 – $R = 1,66 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$. <p>На підставі розрахунків, термічний опір замкнутих повітряних прошарків товщиною по 10 мм в кількості 2 шт. при горизонтальному розташуванні та встановленні між ними алюмінієвої фольги становить $R = 0,71 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.</p>		

	Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Відділ будівельної фізики та енергоефективності	Стор. 10 Всього 10
Найменування документа: ВИСНОВОК		Позначення ВНД-217-7697.21-003 Статус ФІН Ред 01 Дата 19.02.2021
<p>ВИСНОВКИ</p> <p>1. Проведено випробування з визначення теплоізоляційних характеристик замкнених повітряних прошарків з відбиваючим шаром із алюмінієвої фольги.</p> <p>2. Термічний опір замкнених повітряних прошарків товщиною по 10 мм в кількості 2 шт. при горизонтальному розташуванні та встановленні між ними алюмінієвої фольги становить $R = 0,71 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.</p>		