

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 $R=2 \times 1,83 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. 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-пісчаного 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 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>
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>.

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 БУДІВЕЛІ 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 БУДІВЕЛІ	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		
ЕКРАНОВАНИМИ НЕВЕНТИЛЬОВАНИМИ ПРОШАРКАМИ		72
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		106
ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ В БУДІВНИЦТВІ		
4.1	Розробка теплоізоляційної плитки з невентильованими повітряними прошарками, екранованими фольгованим	107

матеріалом	
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 153	

з визначення теплопровідності в сухому стані теплоізоляційного виробу

Додаток К Висновок за результатами випробувань

з визначення теплопровідності в сухому стані теплоізоляційного виробу

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 неvented 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.

Міхеєва 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 багатошарових огорожувальних конструкцій.

- 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;
- виконати проектування конструктивного варіанту зразка-макету теплоізоляційного виробу з оптимізацією тепло-фізичних параметрів шляхом використання методів математичного моделювання процесів проникнення температурних потоків;
- виготовити дослідну партію зразків теплоізоляційних виробів з невентильованими повітряними прошарками та провести комплексні проектування експлуатаційних характеристик будівельного виробу;
- обґрунтувати доцільність впровадження в будівництві результатів наукової розробки та визначити показники техніко-економічної ефективності нового варіанту теплозахисту огорожувальних

конструкцій будівель.

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 багат шарові 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 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 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 замкнутих 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 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.

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:

- <https://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. Тепломассообмен. 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/j.enbuild.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 Sollicc. Numerical heat transfer analyses of a wavy-laminar falling film using moving curvilinear coordinates. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. October 2012Volume 39, Issue 8, , Pages 1073-1079
 45. Пазен О. Ю. Математичне моделювання процесів теплопереносу в багатоплощинних 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. носібник. 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/mateccconf/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 U, МПК (2006), E04F 13/00. 2007 р. Бюл. № 11.
 70. ДСТУ Б ГОСТ 16381:2011. Матеріали і виробни будівельні теплоізоляційні. Класифікація і загальні технічні вимоги (ГОСТ 16381-77, IDT). [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 доквіллям. [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. Бурова 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. No 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-plastikovyh-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». [Электронный 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.

