

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**МАКСИМЕНКО МАРИНА АРКАДІЇВНА**

УДК 699.059: 536.212.3

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

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Швець Віталій Вікторович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
в.о. завідувача кафедри будівництва, міського  
господарства та архітектури

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Костюк Тетяна Олександрівна,**  
Харківський національний університет будівництва  
та архітектури,  
завідувач кафедри будівельних матеріалів і виробів  
кандидат технічних наук  
**Олексієнко Олена Борисівна,**  
Державне підприємство «Державний науково-  
дослідний інститут будівельних конструкцій»,  
в.о. завідувача відділу будівельної фізики та  
енергоефективності

Захист відбудеться «13» травня 2021 р. об 11<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.04 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95 та на сайті:

<https://iq.vntu.edu.ua/departs/index.php?id=342&page=4&mode=>

Автореферат розісланий «09» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради к.т.н., доц

О. В. Христич

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**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 і забезпечення при цьому нормованих параметрів мікроклімату приміщень 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 потребує запровадження нових методик проектування огорожувальних конструкцій із застосуванням екранної теплоізоляції.

### **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.

**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;
- 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 неvented 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 багатошарових стінових теплоізоляційних виробках.

**Предмет дослідження:** теплоізоляційні вироби з неvented 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 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 багатошарових 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 теплоізоляційні плити 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 Scopus, 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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено обґрунтування вибору теми дослідження, зазначено зв'язок із науково-дослідними програмами, темами, сформульовано мету та завдання дослідження. Окреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача та наведено дані щодо апробації роботи.

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.

Робоча гіпотеза досліджень полягає у використанні невентильованих екранованих повітряних прошарків у будівельних виробках для досягнення

нормативного термічного опору зовнішніх стін при зменшенні їх товщини.

Загальні питання теплообміну в будівельних конструкціях та процес передачі теплоти через замкнуті повітряні прошарки в будівельних виробках детально 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.

У **другому розділі** наведено теоретичні методи розрахунку теплопровідності в багатошарових 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».

Як правило, екранну ізоляцію в будівельних огорожувальних конструкціях доцільно використовувати у вигляді пакету, що представляє собою сукупність матеріалів з малою поглинальною і великою відбивною здатністю екранів з повітряними невентильованими прошарками між ними.

Теплопровідність повітряного прошарку, визначення якої є однією з головних задач теплотехнічного розрахунку таких конструкцій, величина непостійна, залежить від багатьох факторів, у тому числі і від абсолютного значення температур на поверхнях.

Схематизація процесу теплообміну в зовнішній стіні, утепленій за допомогою екранної теплової ізоляції, подана на рис. 1.

Задача стаціонарного теплообміну в зовнішній стіні, утепленій за допомогою екранної теплової ізоляції, при таких умовах:

- 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.

Температури на стиках шарів конструкції визначаються за формулою:

$$\tau_n = t_e - \frac{t_e - t_3}{R_0} \left( R_e + \sum_{n-1} R \right) \quad (1)$$

де  $t_n$  – температура на поверхні  $i$ -го шару,  $\sum_{n-1} R$  – сума термічних опорів  $n-1$  шарів конструкції до розглянутого перетину,  $(m^2 \cdot K) / W$ ;  $t_b$ ,  $t_3$  – температура повітря всередині приміщення і зовні відповідно.

Використавши формулу (1), визначено температуру на межі всіх шарів конструкції. Всередині шару, що складається з одного матеріалу, зміни температури зображено прямою лінією. У багатошаровому огороженні температурна лінія представляє ламану, причому падіння температури є більш інтенсивним в шарах, у яких матеріал має менший коефіцієнт теплопровідності і менш інтенсивним в шарах з високим коефіцієнтом теплопровідності.

Розраховані температури зображено на графіку проходження теплового потоку крізь багатошарову конструкцію (рис. 1)

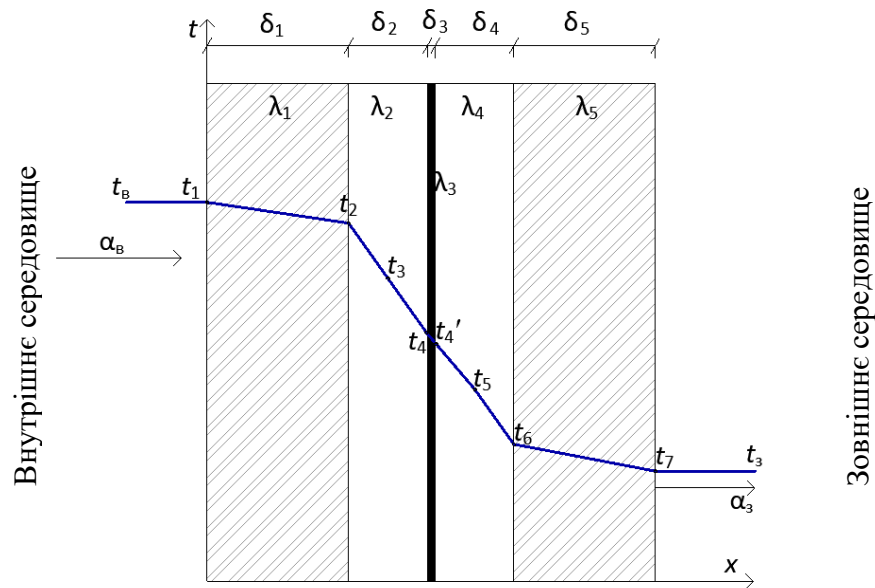


Рис. 1. Графік проходження теплового потоку крізь багатошарову конструкцію

Оскільки даний розрахунок не враховує відбивання теплового випромінювання, то графіки проходження теплового потоку крізь багатошарову конструкцію мають лінійний вигляд.

Розроблено та реалізовано методику експериментальних досліджень для визначення розповсюдження температури в багатошарових виробках на розробленій експериментальній установці. 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 TECHNOCOL, 1180×580×20 мм,  $\lambda=0,036$  Вт/(м·К);
- Плитка для підлоги (полімеркомпозитна) 330×330×17 мм,  $\lambda=1,15$  Вт/(м·К).

Як екрануючий матеріал використано фольгований крафт папір  $\lambda=0,04$  Вт/(м·К),  $\delta=0,13$  мм та полотно Izolon с одностороннім фольгуванням Air 5 мм,  $\lambda=0,036$  Вт/(м·К).

Експериментальна установка, загальний вигляд та схему якої наведено на рис. 2 та рис. 3, являє собою куб із гранями багатошарової будови, кожна грань містить такі шари:

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1 – Скло;                  | 4 – Полікарбонат;  |
| 2 – Деревостружкові плити; | 5 – Дерев'яні вкладки товщиною $x_{1,2}$ для регулювання товщини повітряного прошарку; |
| 3 – Гіпсокартон;           | 6 – Прошарок фольги.   |

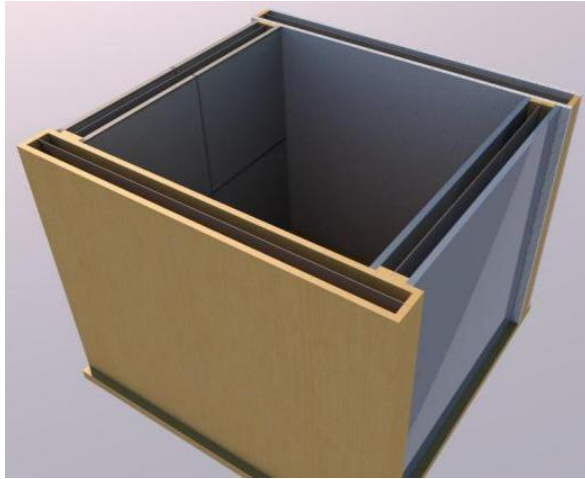


Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки

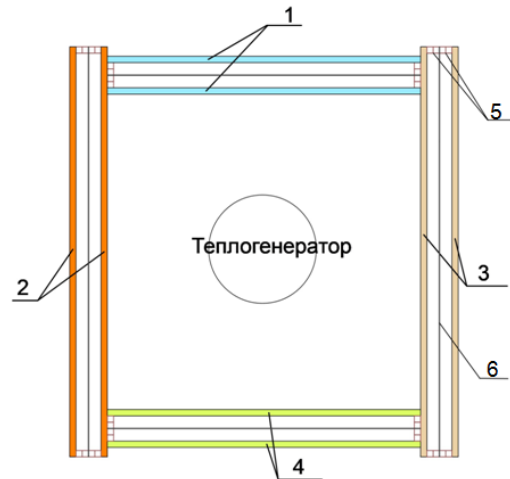


Рис. 3. Схема експериментальної установки

При проведенні експерименту температури на відповідних шарах конструкції визначались за допомогою багатоканального термометра Т-0,56МК.

Для дослідження теплопровідності в конструкції стіни було встановлено 10 термопар, які було позначено  $t_1-t_8$ ,  $t_{вн}$ ,  $t_{зовн}$ . Для зниження контактного опору між матеріалом стінової конструкції і сенсором приладу використовувалася теплопровідна паста Kill-8. Схема розташування термопар в конструкції наведена на рис. 4.

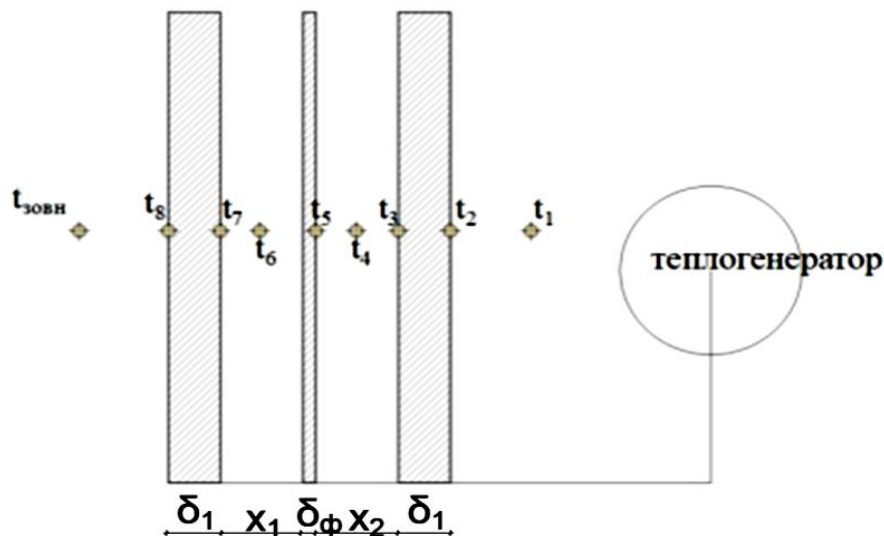


Рис. 4. Схема розміщення теплогенератора та сенсорів багатоканального термометра



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

Порядок проведення експерименту:

1. Обрати стінку з відповідного матеріалу для проведення експерименту.
2. Встановити термодатчики під номером 2, 3, 5, 7, 8 на поверхні стінок конструкції, а датчики під номером 1, 4, 6, “зовн” в повітряні прошарки відповідно до схеми.
3. Встановити дерев’яні вкладки для утворення повітряного прошарку товщиною 5 мм. Увімкнути теплогенератор на режим потужності “1”.
4. При встановленні всередині камери температурного режиму 55 °С спостерігати за показниками сенсорів до встановлення стаціонарного режиму теплопередачі.
5. При досягненні стаціонарного режиму теплопередачі фіксувати показники сенсорів кожні 5 хвилин протягом 60 хвилин.
6. Повторити експеримент при товщині повітряного прошарку 10, 15, 20, 25, 30 мм.
7. Повторити експеримент для кожного матеріалу при товщині повітряного прошарку 5, 10, 15, 20, 25, 30 мм.
8. Провести аналіз результатів дослідження.
9. Побудувати графік залежності  $\lambda(x)$ , де  $x$  – товщина шарів теплоізоляційної плитки.

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

При виконанні експерименту з використанням стінки лабораторної установки із гіпсокартону отримано наступні результати (табл. 1).

За результатами проведеного експерименту побудовано графік проходження теплового потоку крізь багатошарову огорожувальну конструкцію та виконано порівняння його з теоретичними розрахунками (рис. 5).

Таблиця 1

Результати розподілу температури по товщині гіпсокартонової стінки лабораторної установки з повітряними прошарками товщиною 10 мм

№ термодат.	Експериментально визначена температура, °С	Розрахункова температура, °С
$t_{\text{вн}}$	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

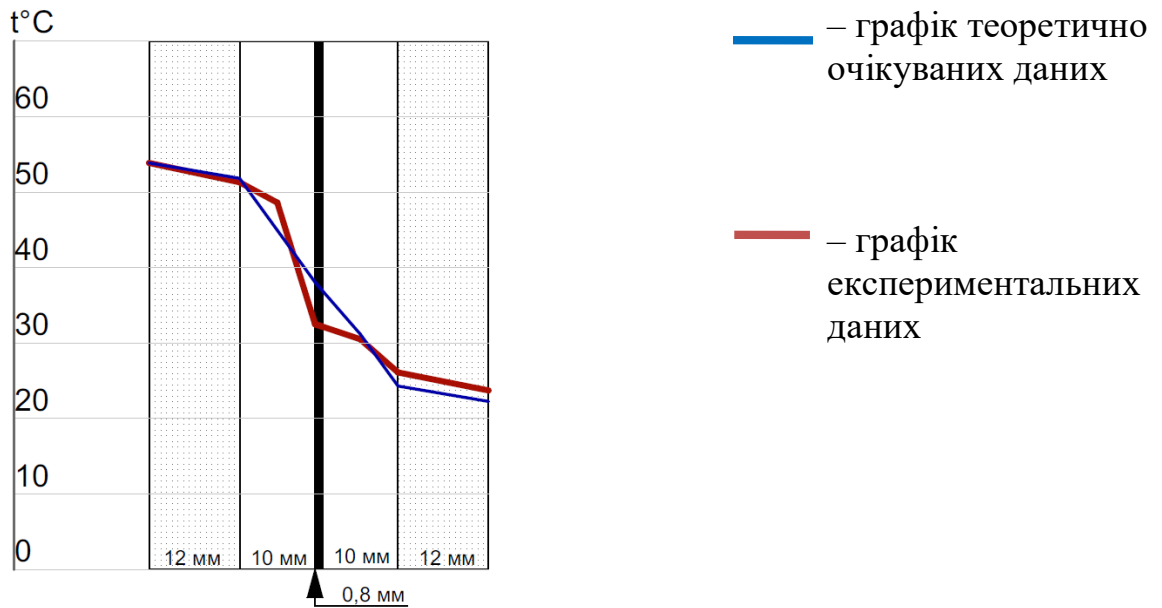


Рис. 5. Графік розподілу температури по товщині стінки лабораторної установки з гіпсокартону з повітряними прошарками товщиною 10 мм

Як видно на рис. 5, 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.

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

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

$$\lambda_x \frac{\Delta T_x}{d_x} = \lambda_{et} \frac{\Delta T_{et}}{d_{et}}, \quad (2)$$

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

У формулі (2) 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 точнішого вирівнювання температури внутрішній об'єм термостатів оснащують спеціальними перегородками.

$$\frac{\lambda_{et}}{h_{et}}(T_1 - T_2) = \frac{\lambda_x}{h_x}(T_2 - T_3) \quad (3)$$

де  $h_{et}$  і  $h_x$  – товщини пластин.

Звідки (3) остаточна формула для визначення невідомого коефіцієнту теплопровідності досліджуваного матеріалу має вигляд:

$$\lambda_x = \lambda_{et} \frac{h_x (T_1 - T_2)}{h_{et} (T_2 - T_3)} \quad (4)$$

Результат розрахунків за експериментальними даними теплопровідності повітря в прошарку до та після фольгованого екрану наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результат обрахунків теплопровідності повітря в прошарку до та після фольгованого екрану

Товщина повітряного прошарку, $\delta$ , мм	Теплопровідність прошарку перед фольгою, $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплопровідність прошарку після фольги, $\lambda$ , Вт/(м·К)
Гіпсокартон $\delta=12$ мм, $\lambda=0,17$ Вт/(м·К)		
10	0,013	0,028
15	0,016	0,0338
20	0,0165	0,038
25	0,0169	0,043
30	0,0204	0,045
ДСП $\delta= 18$ мм, $\lambda=0,2$ Вт/(м·К)		
10	0,018	0,032
15	0,023	0,044
20	0,028	0,056
25	0,029	0,058
30	0,032	0,067
Скло $\delta= 4$ мм, $\lambda=1,15$ Вт/(м·К)		
10	0,028	0,032
15	0,031	0,043
20	0,033	0,049
25	0,039	0,054
30	0,042	0,066
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

За результатами експериментів виготовлено дослідні зразки (рис. 6, рис. 7), які мають багатошарову конструкцію із замкнутими прошарками повітря, екранованими фольгованим матеріалом.

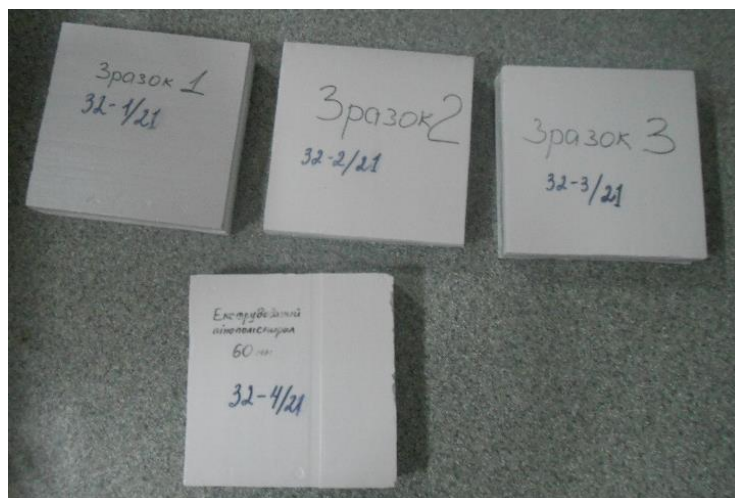


Рис. 6. Загальний вигляд дослідних зразків № 32/20

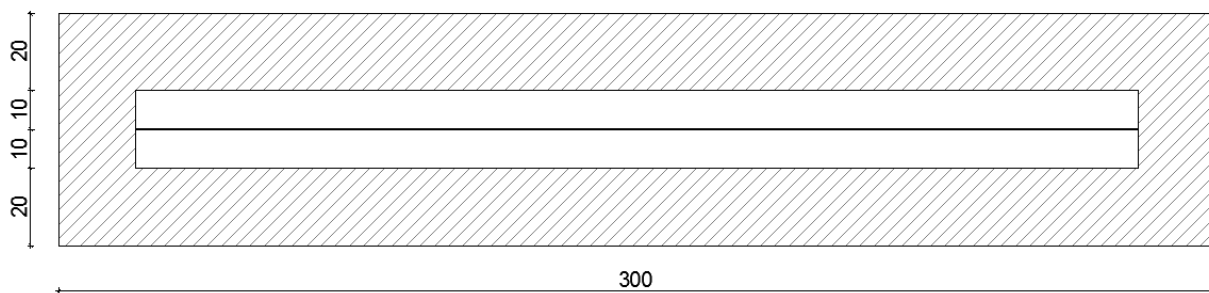


Рис. 7. Вигляд дослідного зразка у розрізі

Для каркасу експериментального виробу було обрано екстудований пінополістирол та полімерпіщану плитку, в якості екрану встановлено фольгований крафтпапір та фольгований спінений поліетилен – ізолон.

Пошарово всі зразки наведено в табл. 3

Таблиця 3

Характеристика зразків 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)				

	1	2	3	4	5
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 теплотехнічних характеристик експериментальних зразків теплоізоляційної плитки проведено у Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), відповідно до державних стандартів України. Тип та основні характеристики обладнання наведено у табл. 4.

Таблиця 4

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 ІТ-7С 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. 8.

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,  $\varphi$  – вологість повітря в приміщенні,  $P$  – атмосферний тиск повітря в приміщенні



Рис. 8. Загальний вигляд випробувальної установки під час дослідження

Результати випробувань термічного опору в горизонтальному положенні наведено у табл. 5.

Таблиця 5

Результати випробувань термічного опору

№ зразка	Густина випробувальних зразків, кг/м <sup>3</sup>	Середня густина випробувальних зразків, кг/м <sup>3</sup>	Середня температура зразків при випробуванні	Термічний опір, м <sup>2</sup> К/Вт	Середнє значення термічного опору м <sup>2</sup> 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  $R = 0,71 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Моделювання проходження теплового потоку крізь фольговані теплоізоляційні плити на основі методу кореляційно-регресійного аналізу передбачає побудову його залежності від сукупності вхідних факторів кожного його структурного блоку. З метою визначення залежності структурних елементів термічного опору від факторних ознак було використано лінійну модель багатofакторної регресії, яка має узагальнений вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 \quad (5)$$

де  $y$  – показник термічного опору, коеф.;

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  – фактори, що впливають на термічний опір;

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

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$  – коефіцієнти багатofакторної 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.

Рівняння регресії має вигляд:

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

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

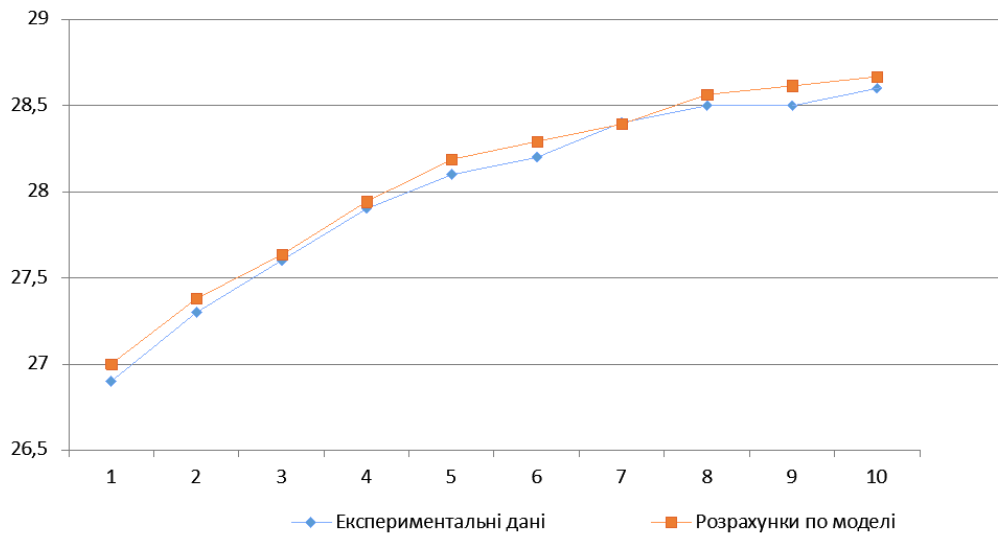


Рис. 9. Графік рівняння регресії для зразка стіни із ДСП

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

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

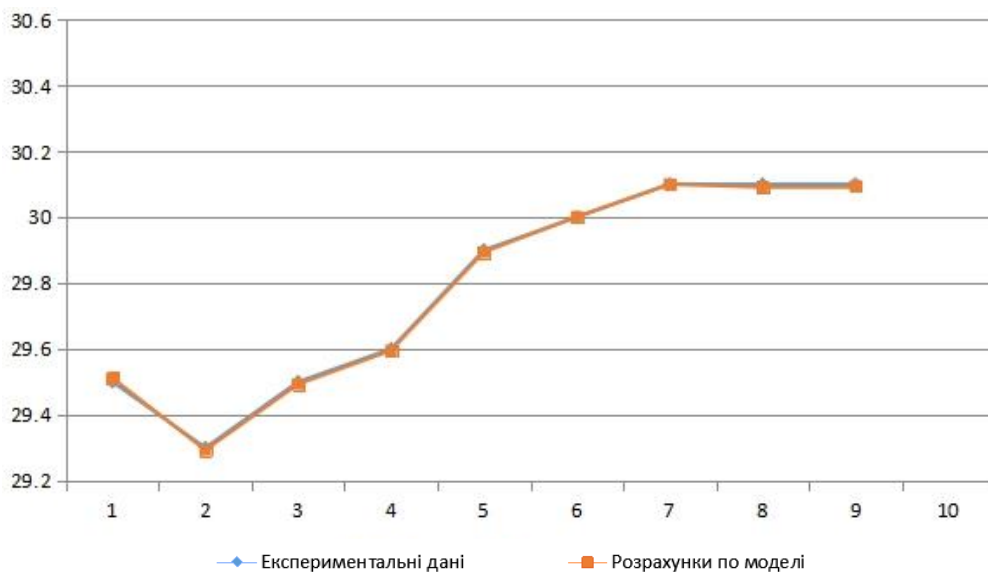


Рис. 10. Графік рівняння регресії для зразка стіни із гіпсокартону

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

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

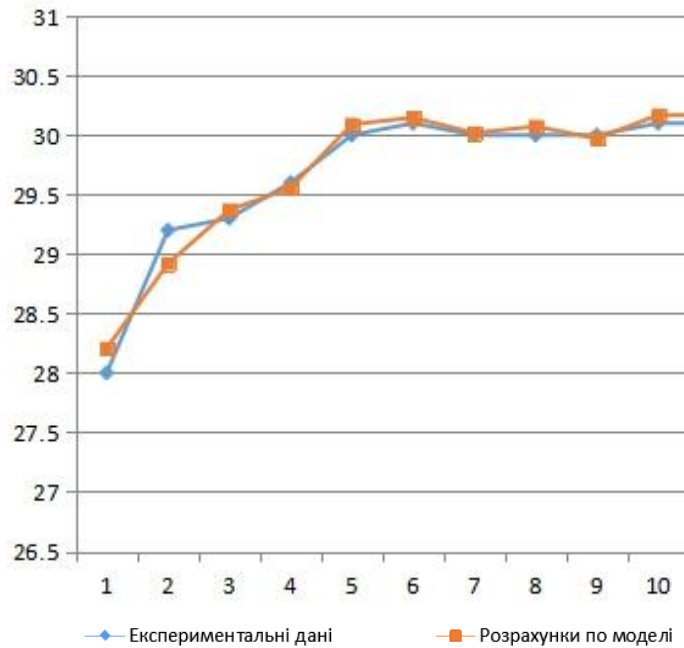


Рис. 11. Графік рівняння регресії для зразка стіни зі скла

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

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

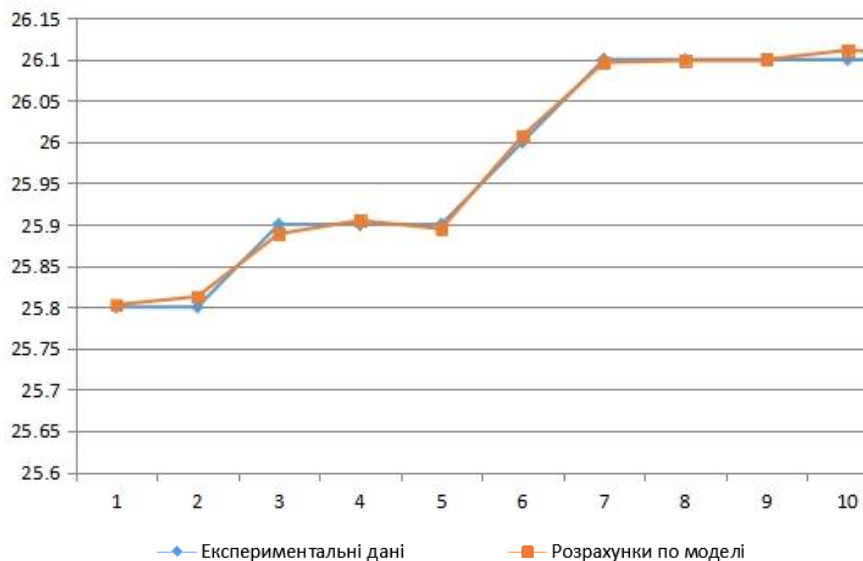


Рис.12. Графік рівняння регресії для зразка стіни із полікарбонату

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  $R = 2 \times 1,83$  м<sup>2</sup>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.



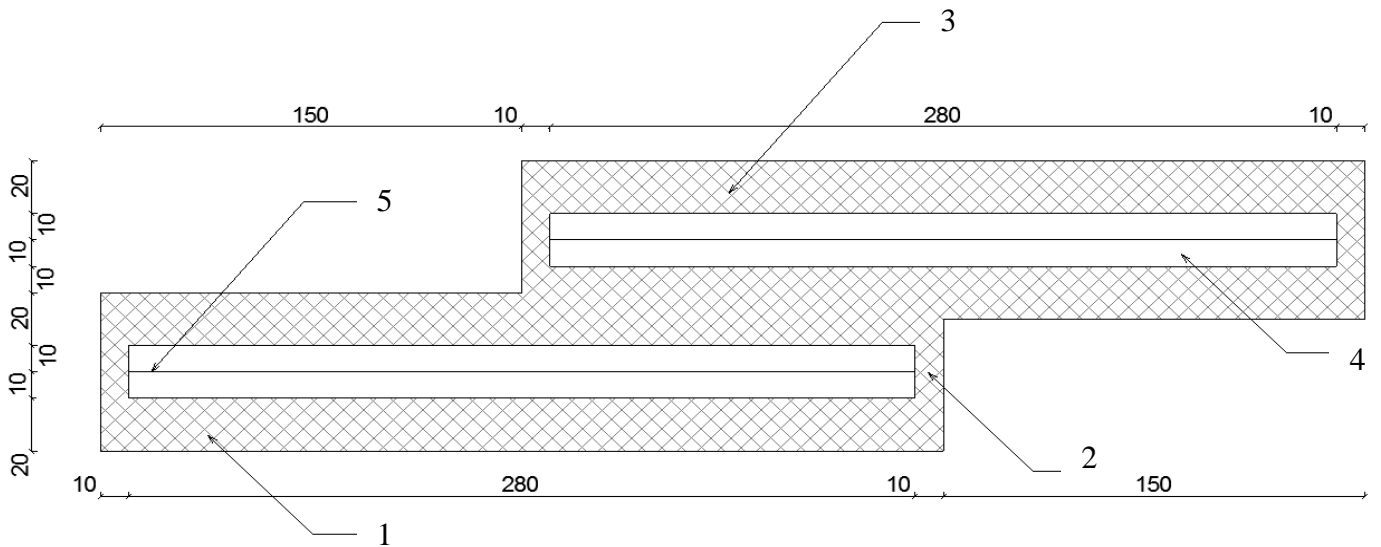


Рис. 13. Будова енерговідбиваючої плитки

Стіну утеплену плиткою з двома невентильованими повітряним прошарками, розділеними фольгованим матеріалом показано на рис. 14.

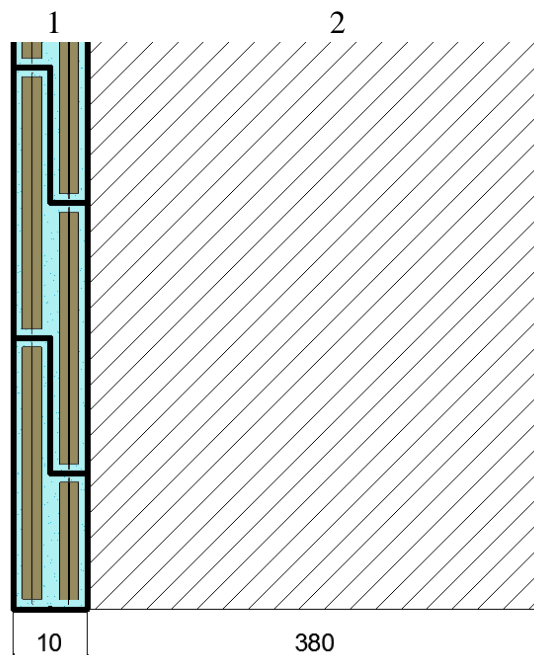


Рис. 14. Стіна утеплена плиткою з невентильованими повітряний прошарками

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) ( $R = 2 \times 1,83$  м<sup>2</sup>·К/Вт):

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_6} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (5)$$

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

$$R_{\text{заг}} > R_{\text{норм}}$$

Термічний опір запропонованої багатошарової стіни дорівнює 3,8 (м<sup>2</sup>·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 – полімеріщана теплоізоляційна плитка з невентильованими повітряними прошарками  $2 \times \delta = 54$  мм,  $R=2 \times 0,96$  Вт/(м·К):

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

$$R_{\text{заг}} > R_{\text{норм}}$$

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. 15-17).

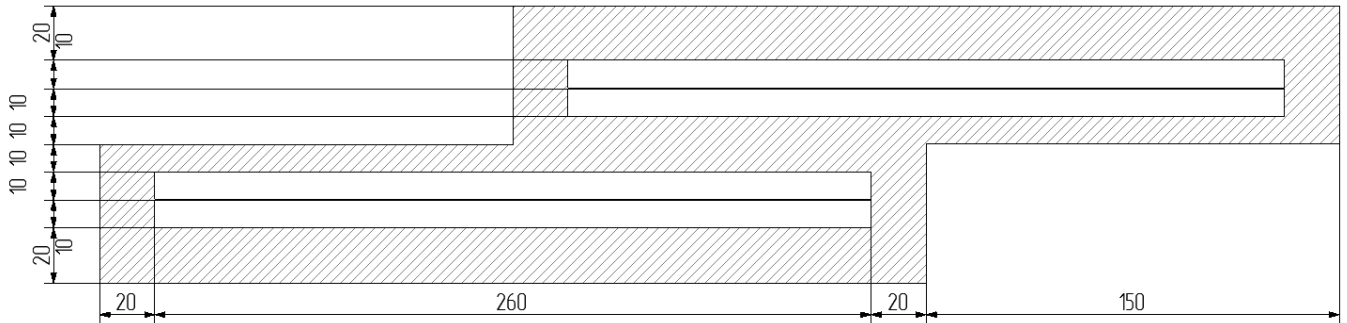


Рис. 15. Будова енерговідбиваючої плитки

Для утеплення стін біля віконних і дверних отворів, кутів будівель передбачено конструктивне виконання торцевої та кутової секцій (рис. 16-17).

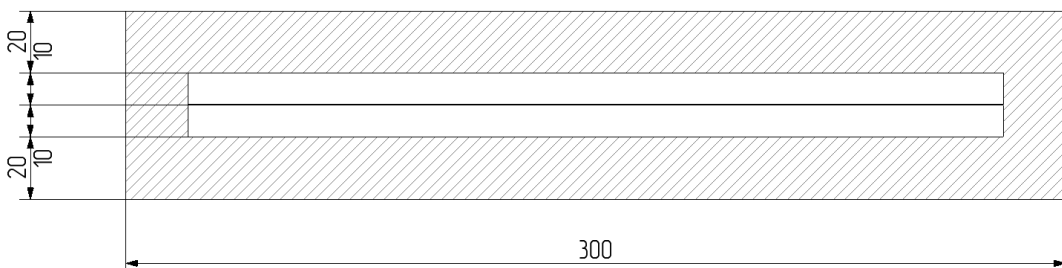


Рис. 16. Торцева одинарна секція

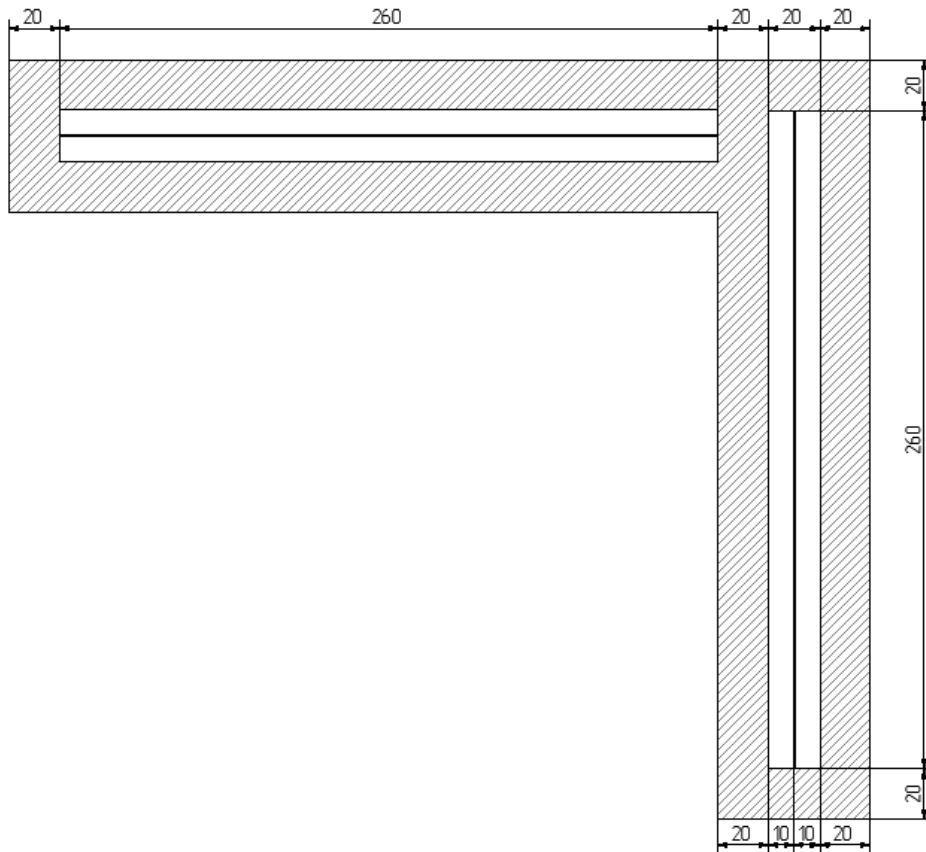


Рис. 17. Кутова секція

Монтаж плит відбувається в такій послідовності. На стартовий профіль встановлюються плити по нитці ряд за рядом (рис.18). 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.

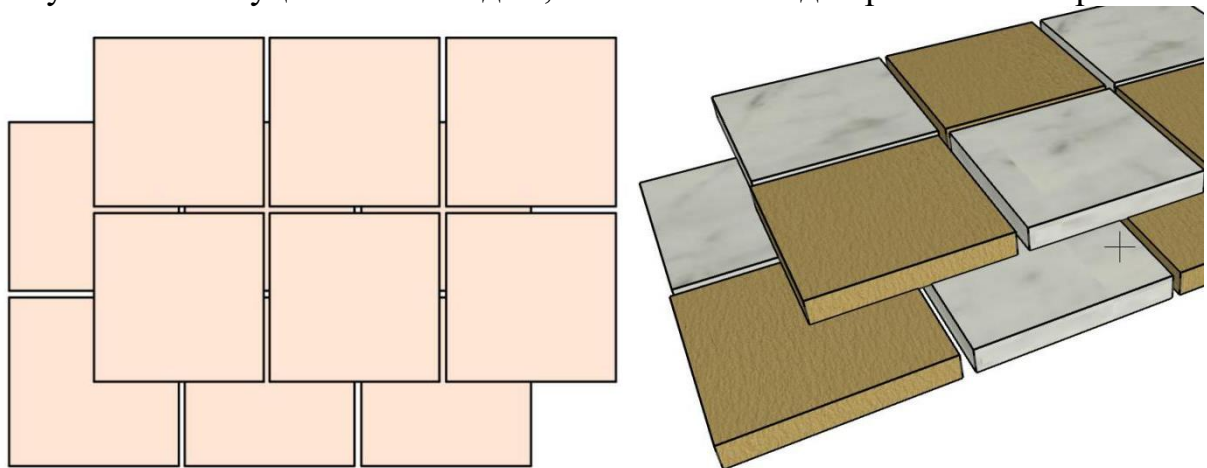


Рис. 18. Технологія монтажу стінових плиток

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

## 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 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:*

- [1] М. А. Іскра, та В. В. Швець, “Теплоізоляційна плитка для фасадів будівель, що працює за принципом термоса”, *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, № 2, с. 62-64, 2010.
- [2] М. А. Максименко, та В. В. Швець, “Аналіз існуючих способів захисту будівель від тепловтрат”, *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, № 2, с. 41-47, 2014.
- [3] М. А. Максименко, та С. В. Риндюк, “Методологія дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі”, *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, № 2, с. 201-205, 2018.
- [4] М. А. Максименко, В. В. Швець, та В. Ю. Козак, “Моделювання проходження теплового потоку крізь фольговані термопанелі на основі методу кореляційно-регресійного аналізу”, *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, № 1, с. 72-77, 2019.
- [5] M. Maksymenko, S. Ryndiuk, and V. Shvets, “Investigation of thermal conductivity of multilayer building materials at products”, *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, Vol. 7, No 2, pp. 59-66, 2018.
- [6] М. А. Максименко, С. В. Риндюк, та В. В. Швець, “Дослідження теплозахисних властивостей замкнутих повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції”, *International Scientific and Practical Conference World science*, № 25, с. 37-40, 2018.

### *Праці апробаційного характеру:*

- [7] М. А. Максименко, та В. В. Швець “Використання тепловідбиваючих матеріалів для утеплення стін будівель” на *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*, Вінниця, 2015. Електронний ресурс. Доступно: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inbtegp/mba.php>.
- [8] М. А. Максименко, та В. В. Швець, “Аналіз основних факторів, що впливають на теплову спроможність огорожуючих конструкцій” на *Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2017»*, Вінниця, 2017. Електронний ресурс. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3416/2862>.
- [9] М. А. Максименко, “Теплозахисні властивості замкнутих повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції” на *Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2017»*, Вінниця, 2017. Електронний ресурс. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2017/paper/view/3415/2861>.
- [10] М. А. Максименко, “Роль відбиваючого екрану в термозахисних конструкціях” на *XLVII Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання*, Вінниця, 2018. Електронний ресурс. Доступно: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/21003/4347.pdf?sequence=3>.

### *Патенти:*

[11] В. В. Швець, С. В. Риндюк, та М. А. Максименко. Теплоізоляційна енерговідбиваюча панель. МПК E 04 F 13/00, № U201908041, 142166 UA, 25.05.2020, Бюл. № 10.

## 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, Вінниця, 2021.

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.

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 порівнянні з теоретично розрахованими даними.

Виконано розрахунок радіаційної і конвективної складової процесу теплопередачі в конструкції із замкнутими повітряними прошарками. За методом Хрестіансена визначено теплопровідність повітряних прошарків до та після прошарку фольгованого матеріалу.

Проведено кваліфікаційні випробування термічного опору дослідних зразків з екструдованого пінополістиролу з двома замкнутими повітряними прошарками, розділеними фольгованим матеріалом загальною товщиною 60 мм.

Виконано моделювання дослідження проходження теплового потоку крізь фольговані теплоізоляційні плити на основі методу кореляційно-регресійного аналізу передбачає побудову лінійних моделей його залежності від сукупності вхідних факторів кожного його структурного блоку.

Розроблена теплоізоляційна фасадна плита з екструдованого пінополістиролу та полімер піщаного матеріалу із застосуванням екранної теплоізоляції з невентильованими повітряними прошарками, використання якої дозволить досягнути економічної ефективності теплозахисту зовнішньої стіни.

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

## АННОТАЦИЯ

**Максименко М. А. Теплоизоляционные изделия из невентилируемыми воздушными прослойками, экранированными теплоотражающим материалом. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». – Винницкий

**национальный технический университет, Винница, 2021.**

Высокие эксплуатационные свойства отражающей изоляции, как это указывается во многих работах, практически не изменяются в условиях высоких и низких температур, а также в условиях высокой влажности и вибрации.

Получены результаты исследований прохождения теплового потока через образцы стенок с гипсокартона, ДСП, стекла, поликарбоната и экструдированного пенополистирола. Выявлено, что в воздушной прослойке, расположенной перед фольгой температура распространяется нелинейно, образуя "скачки". То есть воздушная прослойка нагревается больше сравнению с теоретически рассчитанными данными.

Выполнен расчет радиационной и конвективной составляющей процесса теплопередачи в конструкции с замкнутыми воздушными прослойками. По методу Христиансена определено теплопроводность повитряных слоев до и после прослойки фольгированного материала.

Проведено квалификационные испытания термического сопротивления опытных образцов из экструдированного пенополистирола с двумя замкнутыми воздушными прослойками, разделенными фольгированным материалом общей толщиной 60 мм.

Выполнено моделирование исследования прохождения теплового потока через фольгированные теплоизоляционные плиты на основе метода корреляционно-регрессионного анализа предполагает построение линейных моделей его зависимости от совокупности входных факторов каждого его структурного блока.

Разработана теплоизоляционная фасадная плитка из экструдированного пенополистирола и полимер песчаного материала с применением экранной теплоизоляции с неветилируемыми воздушными прослойками, использование которой позволит достичь экономической эффективности теплозащиты внешней стены.

**Ключевые слова:** теплопроводность, энергоэффективность, термическое сопротивление, температура, утеплительные материалы, многослойные строительные конструкции, строительные изделия, экранирование.

## ABSTRACT

***Maksymenko M. 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, Vinnytsia, 2021.**

Thermal insulation products and structures with unventilated air layers are multilayer structures. They consist of a rigid frame with inclusions. Studies show that when heat passes through 1 m<sup>3</sup> of the vertical air layer in one hour at a temperature difference on its surfaces of 5 ° with a layer thickness of 10 to 200 mm, the share of thermal conductivity is 38-42%, convection 2-20%, radiation 60 -79%.

Unventilated air layers work effectively at a thickness of 6-10 mm, provided there is

no convective movement inside, which occurs due to the temperature difference on the surfaces of the layer.

The thermal resistance of the air layers increases with decreasing temperature of the layers. Therefore, it is more rational to place the air layer closer to the outer surfaces of the enclosing structures, where the temperature is lower in winter.

Due to the fact that heat transfer in the air layers depends more on the radiation component, it is advisable to use energy-reflecting screens.

Heat-reflecting insulation is more effective in the temperature conditions of the cold period of the year, in which the enclosing structures of buildings, structures and engineering systems are operated.

There is a need to develop a method of thermal calculation of screen insulation, which would be acceptable for practical use. The available methods of thermal calculation of screen insulation in stationary heat transfer take into account the radiation component in the heat transfer process, and methods that take into account all types of heat transfer through a closed shielded air layer involve a large amount of calculations, leading to errors and inaccuracies. In the normative literature, the thermal resistance of a closed shielded air layer is estimated very approximately.

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.

Currently, reliable information on the thermal insulation properties of screen insulation is virtually absent, and the available information, which is usually provided by the manufacturers themselves, is contradictory.

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

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 a foil screen 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, it is necessary to optimize the thermal resistance of the construction product depending on the thickness of the air layer and the surrounding material.

The results of researches of heat flow passage through samples of walls from gypsum cardboard, chipboard, glass, polycarbonate and extruded expanded polystyrene 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.



The calculation of the radiation and convective components of the heat transfer process in a structure with closed air layers is performed. 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.

Qualification tests of thermal resistance of prototypes made of extruded polystyrene foam with two closed air layers separated by a foil material with a total thickness of 60 mm, which amounted to  $1,823 \text{ m}^2\text{K} / \text{V}$ , a single-layer sample of extruded polystyrene with a thickness of 1.6 mm, 60 mm thick.

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.

Developed thermal insulation facade tiles made of extruded polystyrene foam and polymer sand material with the use of screen insulation with unventilated air layers, the use of which will achieve cost-effective thermal protection of the outer wall.

Analysis of technical and economic factors of insulation of external fences showed that the implementation of energy saving measures by insulating the enclosing structures of the building will pay off in 3.6 years.

The process of production of polymer sand tiles is considered, it is found that the volume of one product of a given shape is  $0.054 \text{ m}^3$ , the volume of cavities inside the tile is  $0.005 \text{ m}^3$ . The design of this tile will reduce the amount of raw materials per product by 9.3%.

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

Підписано до друку 16.05.2018 р. Формат 29,7×42 ¼

Наклад 100 прим. Зам. № 2018-093.

Віддруковано в інформаційному редакційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 65-18-06

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.