

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

**Кваліфікаційна робота**

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів

---

---

---

Виконав: студент \_\_\_\_\_ курсу, групи ТЕ-18-2мз  
спеціальності 144-Теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Теплоенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

А. М. Довбня

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент к.т.н. І. А. Назаренко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент заступник директора ІІІ «Ентальпія-  
Плюс» Р.О. Жуков

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя  
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики  
Рівень вищої освіти другий магістерський  
Спеціальність 144 Теплоенергетика  
(код та назва)  
Освітня програма Теплоенергетика  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри


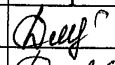
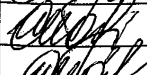
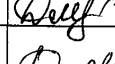

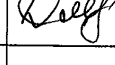
« 26 » 12 2019 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи (проекту) Аналіз коефіцієнту теплопровідності будівельних матеріалів  
керівник роботи Назаренко Ірина Анатоліївна доцент к.т.н. \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від «10» вересня 2019 року №1537-С
- 2 Строк подання студентом роботи 26.12.2019 р.
- 3 Вихідні дані до роботи розміри зразка: 250x120x65мм; Коефіцієнт теплопровідності керамічної цегли  $\lambda = (0,37 \dots 0,93) \text{Вт/м} \cdot \text{°C}$ ; Коефіцієнт теплопровідності облицювальної цегли  $\lambda = 0,44 \text{Вт/м} \cdot \text{°C}$ ;
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальна характеристика об'єкта досліджень; 2. Експериментальне дослідження коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів; 3. Охорона праці; Висновки; Перелік джерел та посилань \_\_\_\_\_.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Конструкція приладу для експериментального визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів; Методи визначення коефіцієнта теплопровідності; Диференційне рівняння теплопровідності; Результати досліджень.


6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Назаренко І.А доцент		
Розділ 1	Назаренко І.А доцент		
Охорона праці	Назаренко І.А доцент		


7 Дата видачі завдання 18.09.2018р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загальна характеристика об'єкта досліджень	18.09-1.01.2019	
2.	Експериментальне дослідження коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів	2.01.2019-30.05.2019	
3.	Проходження переддипломної практики	02.09-28.09.2019	
4.	Охорона праці	01.10-31.10.2019	
5.	Розробка креслень	01.11.2019-15.01.2020	

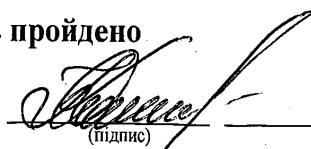
Студент  (підпис)

А. М. Довбня (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

І.А.Назаренко (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  (підпис)

Ю. М. Каюков (ініціали та прізвище)

spe  
Zar  
Huc  
Tec  
varic  
phys

## АНОТАЦІЯ

Довбня А. Аналіз коефіцієнту теплопровідності будівельних матеріалів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник І.А.Назаренко. Запорізький Національний Університет. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, 2020.

Метою магістерської роботи є виявлення закономірностей теплопередачі через різноманітні будівельні матеріали, які застосовуються для будівельних огорожувальних конструкцій. Методикою фізичного експерименту є використання стандартизованих підходів до планування експерименту. Розроблено конструкцію приладу для визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів. Отримано експериментальні данні коефіцієнту теплопровідності для керамічної та облицювальної цегли.

Ключові слова: КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ, ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ТЕПЛОВІ ВИТРАТИ, ОГОРОЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА СТІН

## ABSTRACT

Dovbnia A. Analysis of thermal conductivity of building materials.

Qualifying final work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 144 – Thermal Heat Engineering scientific supervisor I.A.Nazarenko. Zaporizhzhya National University. Department of Thermal Power Engineering and Hydropower Engineering. Faculty of Energy, Electronics and Information Technologies, 2020.

The purpose of the master's work is to identify patterns of heat transfer through various building materials used for building enclosure structures. The technique of physical experiment is to use standardized approaches to experiment planning.



The design of the device for determining the coefficient of thermal conductivity of building materials is developed. Experimental data were obtained for the coefficient of thermal conductivity for ceramic and facing bricks.

Keywords: THERMAL CONDUCTIVITY, THERMAL INSULATION MATERIALS, HEAT COSTS, FENCING STRUCTURES, WALL TRANSMISSION

## АННОТАЦИЯ

Довбня А. Анализ коэффициента теплопроводности строительных материалов.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель И.А. Назаренко. Запорожский Национальный Университет. Кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий, 2020.

Целью магистерской работы является выявление закономерностей теплопередачи через различные строительные материалы, которые применяются для строительных ограждающих конструкций. Методике физического эксперимента является использование стандартизированных подходов к планированию эксперимента. Разработана конструкция прибора для определения коэффициента теплопроводности строительных материалов. Получены экспериментальные данные коэффициента теплопроводности для керамической и облицовочного кирпича.

Ключевые слова: КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ, ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ, ТЕПЛОПЕРЕДА

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Для постійного збільшення попиту в сучасних умовах конкуренції на будівельному ринку необхідним є постійне розширення асортименту керамічної цегли, покращення фізико-технічних властивостей та, найголовніше, забезпечення конкурентної здатності за ціною.

*Об'єкт дослідження* - процес перенесення теплоти внаслідок теплового руху мікрочастин, які безпосередньо дотикаються одна до одної.

*Предмет дослідження* – теоретичне та експериментальне обґрунтування процесу теплопровідності будівельних матеріалів.

*Мета роботи* – розробка лабораторної установки для дослідження теплопровідності цегли.

*Задачі дослідження.* Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою досліджень;
- розробка експериментальної установки для дослідження коефіцієнта теплопровідності цегли
- розрахунок теплотехнічних характеристик
- побудова графіку передачі теплового потоку через зразок для стаціонарного теплового режиму .

*Методи та способи дослідження.* Поставлені задачі вирішувались шляхом проведення фізичного експеримент на основі розробленої лабораторної установки. В роботі використано стаціонарні методи дослідження теплопровідності.

*Наукова новизна отриманих результатів.* Прилад забезпечує можливість дослідження теплопровідності й інших матеріалів за умови виготовлення зразків у вигляді прямокутного паралелепіпеда з розмірами 250x120x65 мм.

*Практична цінність роботи* полягає в розробці експериментальної установки для визначення коефіцієнта теплопровідності.

*Особистий внесок здобувача.* Теоретичні дослідження, виконані безпосередньо автором спільно із співробітниками Запорізького національного університету. Автору належать основні ідеї роботи, постановка завдання, обґрунтування основних припущень, теоретичні викладки та аналіз отриманих результатів і формулювання висновків за результатами проведених досліджень.

*Апробація роботи.* Положення роботи викладені на XXIV студентській науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ІІ ЗНУ «Актуальні проблеми сучасної енергетики – 2019»

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел та посилань з

Загальний обсяг складає сторінок, у тому числі ілюстрації та таблиць.



# ЗМІСТ

## ВСТУП

### 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1.1 Теорія теплопровідності
- 1.2 Методи дослідження теплопровідності
- 1.3 Загальні технічні властивості будівельних матеріалів
- 1.4 Теплопровідність будівельних матеріалів
- 1.5 Сучасна промисловість будівельних матеріалів
- 1.6 Сучасний ринок будівельних матеріалів
- 1.7 Аналіз ринку керамічної цегли

### 2 КСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

- 2.1 Дослідження коефіцієнта теплопровідності цегли
- 2.2 Дослідження теплопровідності керамічної цегли з отворами
- 2.3 Дослідження теплопровідності пустотілої облицювальної керамічної цегли
- 2.4 Нормативна база для визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів
- 2.5 Промислові прилади для експериментального визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

- 3.1 Характеристика потенційної небезпеки та шкідливих факторів
- 3.2 Заходи поліпшення умов праці
- 3.3 Виробнича санітарія
- 3.4 ЕКОЛОГІЯ
- 3.5 Екологія будівельних матеріалів
- 3.6 Методи вирішення екологічних проблем у виробництві будівельних матеріалів
- 3.7 Електробезпека
- 3.8 Пожежна безпека
- 3.9 Розрахунок штучного освітлення

## ВИСНОВКИ

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Теорія теплопровідності. Загальні дані

В основу процесів перенесення енергії в просторі (і теплоти як різновиду енергії) покладена атомномолекулярна теорія будови речовини та закони термодинаміки. З точки зору сучасної фізики перенесення теплоти в просторі (або через об'єм речовини) являє собою молекулярний перенос за допомогою руху молекул, атомів та електронів і називається теплопровідністю. Енергія руху молекул передається в просторі мимовільно у формі променистої енергії в напрямку від більшої температури до меншої. Отже, у просторі формується певне температурне поле як функція простору й часу  $T=f(x, y, z, \tau)$ .

При перенесенні тепла у тривимірному просторі можна виділити ізотермічні поверхні, що мають однакову температуру. Для характеристики темпу зміни температури у просторі в напрямку до ізотермічних поверхонь використовують поняття температурного градієнта.

Температурним градієнтом- називають відношення зміни температури між ізотермічними поверхнями до відстані між ними, вимірюваної по нормалі, при цьому

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad}t \quad (1.1)$$

Температурний градієнт можна також виразити в напрямку відповідних осей координат тривимірного простору, при цьому одержали

$$\text{grad} t_x = \frac{\partial t}{\partial x}, \quad \text{grad} T_y = \frac{\partial t}{\partial y}, \quad \text{grad} T_z = \frac{\partial t}{\partial z}, \quad (1.2)$$

Тепловий потік виникає тільки за умови, що температурний градієнт не дорівнює нулю, при цьому тепловий потік спрямований від більшої температури до меншої у бік зниження температури. У той самий час позитивне значення вектора температурного градієнта спрямоване

у протилежному напрямку до теплового потоку. Температурний градієнт у найбільшій мірі змінюється щодо нормалі до ізотермічних поверхонь. Для сталого стаціонарного теплового процесу температурний градієнт  $(d/d\tau)=0$ , для не стаціонарного – не сталого теплового процесу  $(d/d\tau)\neq 0$ .

Кількість тепла, що передається від теплоносія через одиницю поверхні теплопередачі в одиницю часу, називають питомим тепловим потоком, при цьому

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} \quad (1.3)$$

Вивчаючи теплопровідність у твердих тілах, французький фізик Фур'є встановив залежність між питомим тепловим потоком і температурним градієнтом, при цьому знайдено

$$q_m = -\lambda \cdot \text{grad}T = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right), \quad (1.4)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності.

Знак (-) показує, що тепловий потік і температурний градієнт спрямовані в протилежні сторони. Порівнявши залежності і вирішивши їх спільно щодо кількості тепла, переданого теплопровідністю, отримано

$$Q = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right) \cdot F \cdot \tau. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  визначається експериментальним шляхом. Він сильно залежить від температури, щільності матеріалу, роду речовини і, в разі газів, від тиску.

Тверді тіла. Їх можна розділити на три групи:

а)  $\lambda = (5 \dots 420) \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  - матеріали з високою теплопровідністю (метали і сплави);

б)  $\lambda = (0,5 \dots 5) \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  - матеріали з малою теплопровідністю (кераміка, вогнетриви);

в)  $\lambda = (0,5 \dots 5) \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  - матеріали з дуже низькою теплопровідністю (теплоізоляційні матеріали, малої щільності);

Для сталей  $\lambda = (30 \dots 50) \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . Зі збільшенням  $\lambda$  сталей має складний характер (див. рис. 1.1). Від  $(0 \dots 800) \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт теплопровідності маловуглецевих і середньовуглецевих сталей знижується, а високовуглецевих і легованих сталей зростає. При температурі вище  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт теплопровідності всіх марок стали зростає.

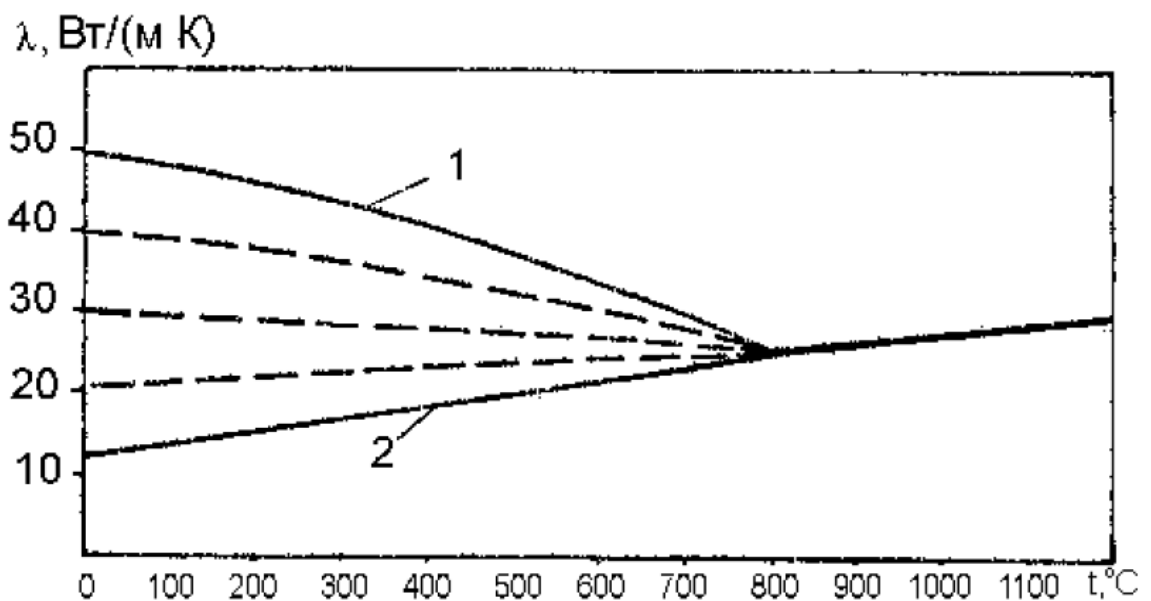
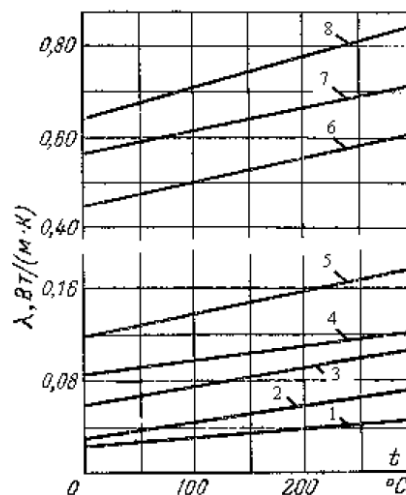


Рисунок 1.1 – Залежність  $\lambda(t)$  для маловуглецевої сталі (1) і аустенітної сталі (2)

Пунктир позначає хід залежності високовуглецевих і малолегіюваних сталей.

Для вогнетривів (динас, шамот)  $\lambda = (0,7...1)$  Вт/(м·К). У теплоізоляторів  $\lambda < 0,2$  Вт/(м·К). Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційних матеріалів сильно залежить від їх щільності - при підвищенні щільності  $\lambda$  збільшується. Наприклад, при зростанні щільності азбесту від (400...800 ) кг/м<sup>3</sup> коефіцієнт теплопровідності азбесту збільшується від (0,1...0,25) Вт/(м·К). Це пояснюється тим, що теплопровідність газу в порах значно нижче твердих компонентів пористого матеріалу.

Зі збільшенням температури коефіцієнт теплопровідності більшості будівельних і теплоізоляційних матеріалів зростає, що пояснюється збільшенням коефіцієнта теплопровідності газів в порах цих матеріалів і збільшенням теплопередачі випромінюванням в порах. Реальна залежність коефіцієнта теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів від температури досить складна. Для спрощення приймається лінійна залежність (див. рис. 1.2).

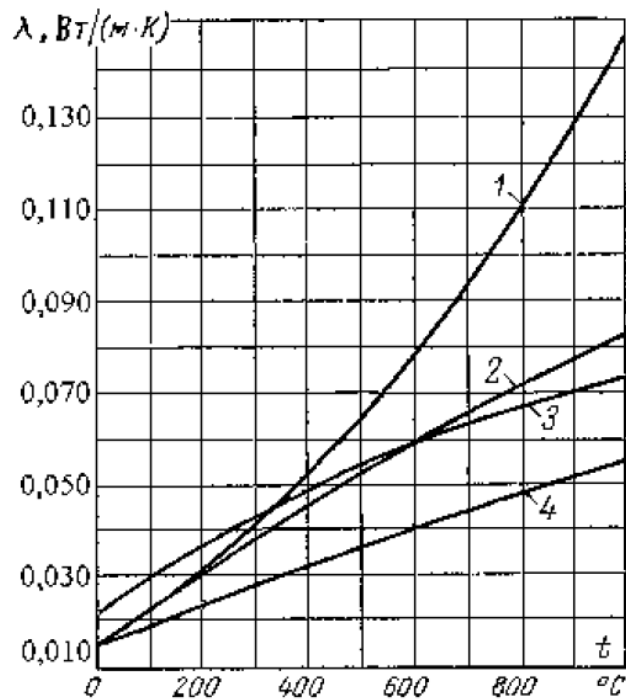


1 - повітря (для порівняння); 2 - мінеральна шерсть; 3 - шлакова вата; 4 - совеліт; 5 – діатомітові цегла; 6 - червона цегла; 7 - шлакобетон ; 8 - шамотна цегла

Рисунок 1.2 - Коефіцієнти теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів

У окремих вогнетривких матеріалів (муллітокремнезем, корунд, периклаз) теплопровідність знижується з підвищенням температури, що може бути пояснено зміною розмірів і форми внутрішніх пір внаслідок різного теплового розширення окремих складових цих матеріалів.

Теплопровідність в газах, так само як і в'язкість в газах, визначається переносом кінетичної енергії в результаті теплового хаотичного руху і зіткнення молекул. Зі збільшенням температури газу швидкість молекул збільшується і, отже,  $\lambda$  газів зростає. Приклад зміни теплопровідності в газах наведено на рисунку 1.3.

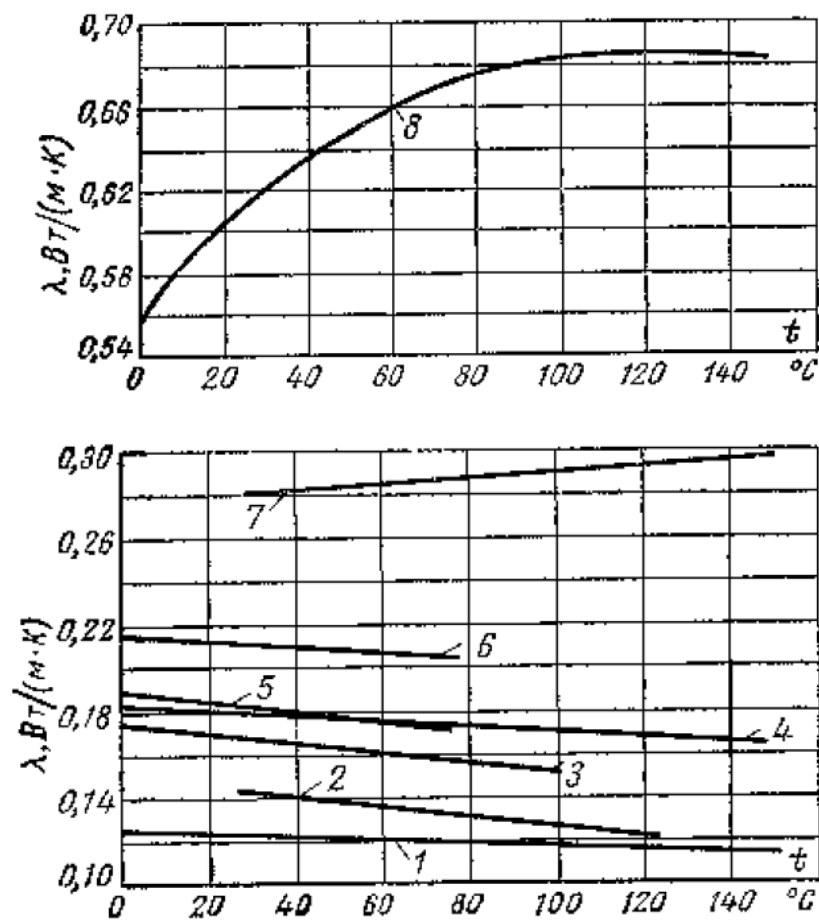


1 - водяна пара; 2 - діоксид вуглецю; 3 - повітря; 4 – аргон

Рисунок 1.3 - Коефіцієнти теплопровідності газів

Гази мають досить низькі значення  $\lambda = (0,006 \dots 0,6)$  Вт/(м·К). Найбільшу теплопровідність мають гази з малою масою молекул (водень, гелій) оскільки ці молекули мають найвищу швидкість переміщення.

Коефіцієнт теплопровідності крапельних рідин лежить в інтервалі приблизно від (0,07...0,7) Вт/(м·К). Механізм поширення теплоти в крапельних рідинах можна уявити як процес перенесення енергії шляхом пружних коливань. Зі збільшенням температури сили взаємодії між частинками рідини слабшають і, отже,  $\lambda$  рідин падає. Це справедливо для більшості рідин. Винятки становлять вода і гліцерин, у яких  $\lambda$  зростає. Приклад зміни  $\lambda$  (t) для крапельних рідин представлений на (див. рис. 1.4)



1 - вазелінове масло; 2 - бензол; 3 - ацетон; 4 - касторове масло; 5 - спирт етиловий; 6 - спирт метиловий; 7 - гліцерин; 8 – вода.

Рисунок 1.4 - Коефіцієнти теплопровідності різних рідин

Коефіцієнт теплопровідності показує, яка кількість тепла передається теплопровідністю за одиницю часу через шар речовини товщиною 1 метр із поверхнею теплопередачі 1 м<sup>2</sup> при різниці температур на поверхнях стінок в один градус. Таким чином, коефіцієнт теплопровідності належить до теплофізичних констант речовини та характеризує теплопровідні властивості матеріалу або середовища в певному діапазоні температур.

Перенесення тепла теплопровідністю іноді в літературі називають кондуктивним перенесенням від англійського «*thermal conduction*».

Поширення тепла теплопровідністю та зміни температури в часі в однорідному нерухомому середовищі описують диференціальним рівнянням, отриманим на основі використання закону збереження енергії й швидкості переносу тепла.

Виділивши в нерухомому однорідному середовищі елементарний об'єм і використовуючи закон збереження енергії, можна визначити кількість тепла, що накопичується в одиниці об'єму за одиницю часу, при цьому одержимо

$$dQ = \lambda \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1.6)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності середовища,

$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$  – друга похідна змін температури в

напрямку відповідної осі координат.

Порівнюючи залежності і вирішуючи їх спільно щодо зміни температури в тілі за рахунок теплопровідності, знайшли

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1.7)$$

де  $a$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с,  $a = \lambda / c\rho$ ;

$c$  – теплоємність масова, Дж/(кг·К);



$\rho$  – густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт температуропровідності характеризує властивості теплоносія, у якому тепло поширюється теплопровідністю, при цьому варто враховувати зміну густини та теплоємності середовища у процесі його нагрівання (або охолодження) на ділянці теплообміну.

## 1. 2 Методи вимірювання коефіцієнта теплопровідності матеріалів

### 1.2.1 Процеси стаціонарної теплопровідності

В багатьох практичних випадках втрата тепла через стінки печей в передачі тепла через стінки труб в рекуператорі і т.д.) ми маємо справу з стаціонарним тепловим станом тіл (стінок печі, стінок труб і т.д.).

Під стаціонарним тепловим станом тіла розуміється такий тепловий стан , при якому температурне поле тіла не змінюється з плином часу[15]

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0, \quad (1.8)$$

де тіло не нагрівається і не охолоджується. При цьому тепловий потік , який проходить через тіло, буде залишатися постійним. Іншими словами, скільки тепла ввійде в тіло, стільки ж з нього і вийде.

Якщо вирішити диференціальне рівняння теплопровідності для випадку стаціонарного теплового потоку плоскої одношарової стінки вийде формула

$$q = \frac{t_r - t_x}{\frac{s}{\lambda}}, \quad (1.9)$$

де  $q$  – тепловий потік , який проходить через стінку, Вт/м<sup>2</sup>;

$t_r$  – внутрішня температура гарячої поверхні стінки, °С;

$t_x$  – зовнішня температура холодної поверхні стінки °С;

$\frac{S}{\lambda}$  – тепловий опір стінки;

$\lambda$  – середній коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки Вт/м·К;

$S$  – товщина стінки, м.

Для двошарової стінки рівняння передачі теплоти буде мати вигляд

$$q = \frac{t_r - t_x}{\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2}} \quad (1.10)$$

У випадку нещільного прилягання шарів двошарової стінки між шарами утворюється повітряний прошарок, який грає роль самостійного третього шару. В цьому випадку рівняння для певного теплового потоку записується в такий спосіб

$$q = \frac{t_r - t_x}{\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_B}{\lambda_{\text{екв}}} + \frac{S_2}{\lambda_2}} \quad (1.11)$$

де  $S_B$  – товщина повітряного прошарку, м;

$\lambda_{\text{екв}}$  – середній еквівалентний коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К);

З цих рівнянь видно, якщо коефіцієнти теплопровідності шарів величини постійні, не залежні від температури, то розподіл температур в межах даного шару, (а для одношарової стінки в межах товщини стінки) буде йти по прямій.

В дійсності коефіцієнт теплопровідності будь-якого матеріалу залежить від температури і розподілу температур в межах шару буде криволінійним. Тому для спрощення розрахунків зазвичай користуються коефіцієнтом теплопровідності для температури середньої для товщини стінки.

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності повітряного прошарку залежить від інтенсивності переносу тепла в прошарку шляхом теплопровідності, випромінювання та конвекції.

В зв'язку з перенесенням тепла в тонкому прошарку при відносно низькій температурі переважно шляхом теплопровідності і для спрощення розрахунків, еквівалентний коефіцієнт теплопровідності у даній роботі приймається рівним коефіцієнту теплопровідності повітря при середній температурі у повітряному просторі.

### 1.2.2 Процеси нестационарної теплопровідності

У всіх практичних випадках нагрівання або охолодження тіла різної форми і розмірів (вироби в печі, стінки в печі в момент розігріву та охолодження і т.д) ми маємо справу з нестационарним тепловим потоком.

Під нестационарним тепловим станом тіла розуміється тепловий стан при якому температурне поле в тілі змінюється з плином часу ( $\frac{\partial t}{\partial \tau} \neq 0$ ), тобто тіло нагрівається та охолоджується[15].

При цьому тепловий потік проходить через тіло буде змінюватися і по напрямку і за часом, так як часина тепла буде витрачатися на нагрівання самого тіла.

Загальний математичний опис руху теплового потоку через тіло дається диференціальним рівнянням теплопровідності, яка для випадку нагріву пластини нескінченних розмірів плоскої стінки може бути записана так

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (1.12)$$

Для того щоб знайти розподіл температур в плоскій стінці будь-який момент часу залежно від теплового потоку необхідно вирішити це диференціальне рівняння.

У даній роботі дано рішення диференціального рівняння теплопровідності (для випадку нагріву плоскої стінки) методом кінцевих різниць.

В результаті рівняння теплопровідності набуває наступного вигляду

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2}, \quad (1.13)$$

де  $\Delta t$  – представляє збільшення температури за час  $\Delta \tau$  годин в площині віддаленої на  $\Delta x$  метрів від початкової поверхні.

Для рішення рівняння досліджувану стінку представляють розділеною на ряд шарів товщиною  $\Delta x$  метрів, а час процесу – на ряд проміжків часу  $\Delta \tau$ .

Тоді температура на границі якогось « $m$ » шару через « $n$ » інтервалів часу буде:  $t_{n\Delta\tau}; m_{\Delta x}$ . Після перетворення за умови, що  $2a\Delta t = \Delta x^2$ , рівняння приймає наступний вигляд

$$T_{(n+1)\Delta\tau; m\Delta x} = \frac{1}{2} (t_n\Delta\tau: (m-1)\Delta x + t_n\Delta\tau: (m+1)\Delta x), \quad (1.14)$$

тобто температура в « $m$ » шарі в якийсь момент часу, відповідний  $(n+1)\Delta\tau$ , дорівнює пів-сумі температур попереднього і подальшого шару в момент часу, попередній даному моменту ( $n \cdot \Delta\tau$ ).

Користуючись цим рівнянням, можна розрахувати прогрів стінки при умовах, якщо відомі зміни температури обох зовнішніх поверхонь стінки.

Найчастіше зміни зовнішніх поверхонь стінки не відомі і їх потрібно визначити.

Для визначення цих температур використовують рівняння, яке може бути отримане, якщо прирівняти кількість теплоти, яке надходить з зовні до поверхні стінки, завдяки конвекції і випромінюванню, кількість теплоти яка відводиться цією поверхнею стінки в середину завдяки теплопровідності.

Для стінки з сторони 0  $\Delta x$  рівняння має вигляд

$$t_{n\Delta\tau: 0\Delta x} = \frac{a_1 \cdot \Delta x \cdot t_{\text{зовн}1} + \lambda_{\text{ср}} \cdot t_n \Delta\tau \cdot 1\Delta x}{\lambda_{\text{ср}} + a_1 \cdot \Delta x}, \quad (1.15)$$

Для стінки з сторни  $Z \Delta x$

$$t_{n\Delta\tau:z\Delta x} = \frac{a_1 \cdot \Delta x \cdot t_{зОВН2} + \lambda_{ср} \cdot t_n \Delta\tau \cdot 1\Delta x}{\lambda_{ср} + a_2 \cdot \Delta x}, \quad (1.16)$$

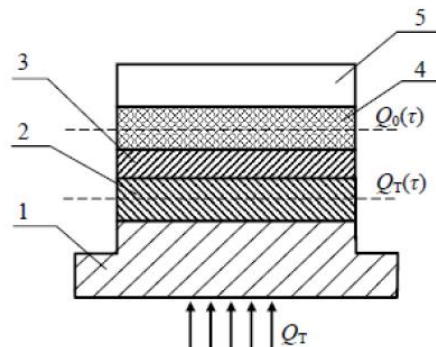
де  $a$  – коефіцієнт температуропровідності ( $a = \frac{\lambda_{ср}}{c_t \cdot \rho}$ ),

$\lambda_{ср}$  – середня теплоємність матеріала стінки, Дж/(кг · К),

$\rho$  – щільність матеріала стінки, кг/м<sup>3</sup>.

Нестаціонарні методи ґрунтуються на дослідженні змінних в часі за певними законами температурних полів. Вони складніші в реалізації. Основною трудностю є те, що в експерименті складніше реалізувати умови, закладені в теорії методу.

Теплопровідність твердих тіл, зокрема будівельних матеріалів, можна досліджувати методом плоского шару [20]. Схема установки подана на (див. рис. 1.5)



1 – основа; 2 – пластина; 3 – контактна пластина; 4 – досліджуваний зразок; 5 – стержень

Рисунок 1.5 - Схема установки для дослідження теплопровідності будівельних матеріалів (тепломір) методом плоского шару

Досліджуваний зразок 4 розміщують між опорним мідним стержнем 5 і мідною контактною пластиною 3. Частина теплового потоку тепломіра  $Q_t(\tau)$  використовується для нагрівання зразка  $Q_0(\tau)$ .

Температурне поле в зразку 4 можна вважати лінійним. Коефіцієнт теплопровідності зразка визначається за формулою

$$\lambda = \frac{h}{R \cdot S}, \quad (1.17)$$

де  $h$ ,  $R$ ,  $S$  – висота, площа поперечного перерізу і тепловий опір зразка.

Величина  $R$  визначається за формулою

$$R = \frac{\Delta T(1+\kappa)}{\Delta T_1 \cdot K(t)} - R_k, \quad (1.18)$$

де  $\Delta T$ ,  $\Delta T_1$  – перепад температур на зразку 4 і пластині 2;  $K(t)$  – теплова провідність тепломіра;

$R_k$  – поправка, яка враховує тепловий опір контакту зразка з стержнем 5 і пластиною 3, а також контакту термопар з поверхнями;

$k$  – поправка, яка враховує вплив теплоємності зразка.

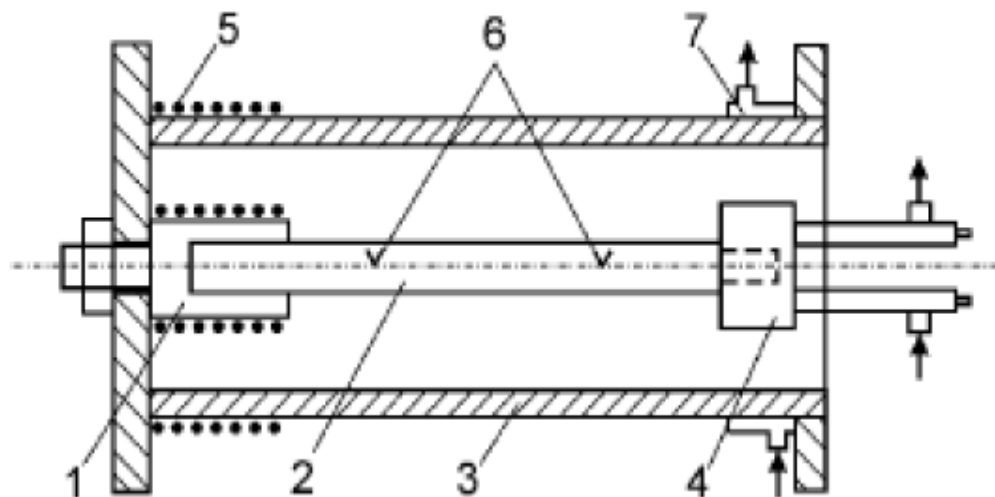
Поправка  $R_k$  і теплова провідність тепломіра визначається таруванням за еталонними зразками з кварцового скла і міді. Для підвищення точності їх визначення виконують не менше 5 дублюючих дослідів. Теплова провідність тепломіра визначається за формулою

$$k(T) = \frac{c_e \cdot m_e}{t - t_a}, \quad (1.19)$$

де  $c_e$ ,  $m_e$  – питома теплоємність і маса еталонного зразка.

Для дослідження коефіцієнта теплопровідності металів й інших матеріалів з високою теплопровідністю часто застосовують метод поздовжнього теплового потоку [21]. На одному з торців довгого зразка площею поперечного перерізу  $S$  створюється рівномірний тепловий потік  $Q$ .

Основною трудностю методу є створення одномірного осевого теплового потоку, його вимірювання і врахування теплових втрат з бокової поверхні зразка. Захист циліндричного зразка від бокових теплових втрат може бути здійснена за допомогою захисного циліндра (див. рис. 1.6) вздовж якого створюється температурне поле, яку повторяє поле зразка.



1 – блок нагрівника; 2 – досліджуваний зразок; 3 – захисний циліндр;  
4, 7 – холодильники; 5 – нагрівник захисного циліндра; 6 – термопари

Рисунок 1.6 – Схема установки для дослідження теплопровідності матеріалів методом поздовжнього теплового потоку

Між двома перерізами зразка, розміщеними на віддалі  $l$  один від одного, вимірюють різницю температур

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (1.20)$$

При відсутності бокових теплових втрат коефіцієнт теплопровідності зразка визначають за залежністю

$$\lambda = \frac{Q \cdot L}{S \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (1.21)$$

Для зразків плоскої форми коефіцієнт теплопровідності матеріалу  $\lambda$  визначають за методом пластини [22]. Теоретичною основою методу пластини є основний закон теплопровідності (закон Фур'є), згідно з яким тепловий потік  $Q$ , що проходить через ізотермічну поверхню тіла пропорційний до площі цієї поверхні  $F$  і градієнту температур  $grad(t)$

$$Q = -\lambda \cdot F \cdot grad(t), \quad (1.22)$$

Для плоскої пластини за умов стаціонарного одномірного температурного поля основний закон теплопровідності запишеться у вигляді

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2), \quad (1.23)$$

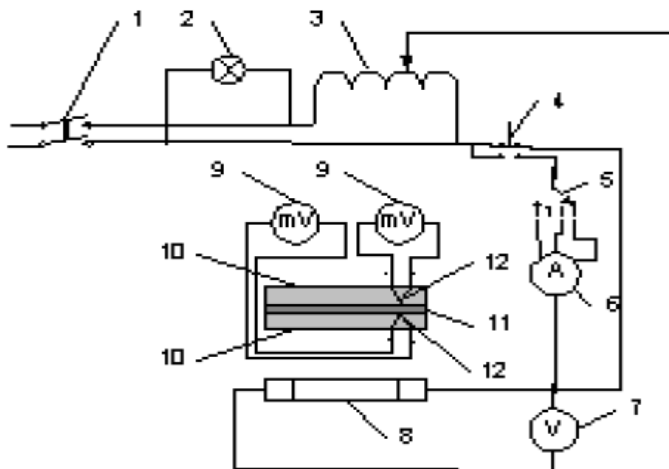
де  $\delta$  – товщина зразка;

$t_1, t_2$  – значення температури на протилежних поверхнях зразка.



В приладі (див. рис. 1.8) нагрівником 8 створюється тепловий потік  $Q_T(\tau)$ , частина якого  $Q_0(\tau)$  використовується для нагрівання зразка. Інша частина теплового потоку  $Q_B$  (втрачене тепло) проходить в навколишнє середовище і не використовується для нагрівання досліджуваного зразка. Тому використовувати відоме значення теплового потоку від нагрівника в якості теплового потоку, що проходить через зразок, є некоректним.

Для зменшення впливу теплових втрат на результати експериментального визначення коефіцієнту теплопровідності досліди проводять зі зразками однакових розмірів з еталонного і досліджуваного матеріалів. Це забезпечує однакові умови дослідження і чистоту експериментальних результатів. При однаковому тепловому потокові нагрівника однаковими будуть і теплові потоки, які пройдуть через зразки.



1 – вимикач приладу; 2 – контрольна лампочка; 3 – лабораторний автотрансформатор; 4 – вимикач амперметра; 5 – перемикач меж вимірювання амперметра; 6 – амперметр; 7 – вольтметр; 8 – нагрівник; 9 – термовольтметр; 10 – алюмінієва пластина; 11 – досліджуваний зразок; 12 - термопара

Рисунок 1.8 – Схема лабораторної експериментальної установки для дослідження теплопровідності матеріалів методом пластини

Густина теплового потоку, який проходить через еталонний зразок, для якого коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_e$  відомий, визначають за залежністю (1.23) після експериментального визначення різниці температур. Отримане значення застосовують для визначення коефіцієнта теплопровідності досліджуваних зразків, значення температур на поверхнях яких визначають в дослідах з цими зразками.

Коефіцієнт теплопровідності досліджуваного матеріалу  $\lambda$  визначають за залежністю

$$\lambda = q \cdot \frac{\delta}{t_1 - t_2} . \quad (1.24)$$

Похибка вимірювань приладу визначається за залежністю

$$y = \left( \frac{2 \cdot \Delta t}{t_1 - t_2} \right) \cdot 100\% , \quad (1.25)$$

де  $\Delta t$  – максимальна похибка у вимірюванні температури (визначається за паспортом термометра).

### 1.3 Загальні технічні властивості будівельних матеріалів

Для виконання функціонального призначення у спорудах матеріали повинні мати необхідні властивості. Під властивостями розуміють здатність матеріалів певним чином реагувати на вплив окремих або сукупних зовнішніх чи внутрішніх факторів (механічних, фізичних, хімічних, біологічних та ін.). Тому, обираючи певний матеріал з урахуванням умов експлуатації та призначення об'єкта, треба правильно визначити його властивості й всебічно оцінити їх.

Для оцінки властивостей будівельних матеріалів їх піддають різним випробуванням у лабораторіях, використовуючи для цього спеціальні прилади, механізми й вимірювальну апаратуру. Порівнюючи одержані показники з

відповідними величинами, встановленими нормативними документами (стандартами, технічними умовами, будівельними нормами), роблять висновок про технічну можливість, а враховуючи економічні показники, і економічну доцільність використання даного будівельного матеріалу в конкретних умовах.

Вибір матеріалів відповідної якості й вартості для будівництва кожного об'єкта є одним з основних елементів будівельного проектування.

Усі властивості будівельних матеріалів за сукупністю ознак поділяють на фізичні, механічні, хімічні й технологічні[17].

### 1.3.1 Фізичні властивості

Фізичні властивості характеризують особливості фізичного стану матеріалу, а також його здатність реагувати на зовнішні фактори, що не впливають на хімічний склад матеріалу.

До фізичних властивостей матеріалів належать: істинна та середня густина, пористість, вологість, водопоглинення, водопроникність, морозостійкість та ін.

Істинна густина  $\rho$  – це маса одиниці об'єму матеріалу в «абсолютно» щільному стані (без пор, пустот), найчастіше її визначають у  $\text{г/см}^3$  або  $\text{кг/м}^3$ .

Майже всі будівельні матеріали мають пористу основу, за винятком скла, кварцу, ситалу, сталі та деяких інших. Щоб визначити «абсолютний» об'єм випробовуваного матеріалу, його висушують до сталої маси  $m_c$  й тонко подрібнюють, щоб кожна частинка не мала пор. Одержаний порошок засипають у спеціальний прилад (об'ємомір), заповнений інертною рідиною по відношенню до речовини, що випробовується (водою, гасом тощо), і за об'ємом витісненої ним рідини встановлюють «абсолютний» об'єм матеріалу  $V_a$ . Істинну густину визначають за формулою

$$\rho = m_c / V_a . \quad (1.26)$$

Показник  $\rho$  – довідкова величина, яка застосовується для виконання деяких розрахунків, наприклад, визначення показника пористості. Істинна густина одного й того самого матеріалу в звичайних умовах залишається сталою.

Середня густина  $\rho_o$  - це маса одиниці об'єму матеріалу в природному стані (разом з порами, пустотами), найчастіше її визначають у  $\text{г/см}^3$  або  $\text{кг/м}^3$ .

Для визначення середньої густини масу випробовуваного матеріалу знаходять зважуванням, а об'єм для зразків правильної геометричної форми – звичайним вимірюванням, неправильної форми – в об'ємомірі за об'ємом витісненої інертної рідини. Середню густина сипких матеріалів (цементу, вапна, піску, щебеню, гравію тощо) називають насипною густиною.

Насипна густина  $\rho_n$  – це відношення маси сипкого матеріалу до його об'єму, включаючи простір між пластинками.

Середня густина залежить від хімічного й мінералогічного складів матеріалу, але більшою мірою – від розміру й кількості пор і пустот. З підвищенням вологості показник  $\rho_n$  збільшується. Середня густина має велике практичне значення для виконання різних розрахунків (обсягів транспортування, складування матеріалів, міцності конструкцій). Вона тісно пов'язана з іншими властивостями будівельних матеріалів, що дає змогу визначати доцільні галузі їхнього використання у будівництві.

У ряді випадків використовують поняття відносної густини  $d$ , тобто відношення середньої густини матеріалу до густини стандартної речовини (наприклад, води, для якої  $\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Відносну величину використовують для визначення орієнтовної теплопровідності, коефіцієнта конструктивної якості.

Пористість  $P$  – це ступінь заповнення об'єму матеріалу порами. Її виражають у відсотках або в частках одиниці (коли загальний об'єм матеріалу приймають за одиницю).

Пористість визначають за формулою

$$P = (\rho - \rho_o) / \rho. \quad (1.27)$$

З пористістю пов'язані такі технічні властивості матеріалу, як міцність, водопоглинання, морозостійкість, теплопровідність тощо. Крім кількості пор у матеріалі, на його властивості істотно впливає характер пористості. Пори можуть бути закритими, тобто недоступними для заповнення водою, і відкритими.

Будівельні матеріали навіть із значною пористістю, але з невеликими або переважно закритими порами мають невелике водопоглинання і значну морозостійкість, тоді як матеріали з таким самим числовим показником пористості, але з відкритими порами не можуть застосовуватися у місцях з високою вологістю.

Пустотність характеризується наявністю порожнин (пустот) у будівельних виробках або між зернами в сипких матеріалах і визначається у відсотках від загального об'єму виробу або матеріалу. Пустотність можна обчислити за тими самими формулами, що й пористість.

Водопоглинання – властивість матеріалу вбирати й утримувати в собі воду. Щоб визначити водопоглинання, зразок матеріалу занурюють у воду й витримують до досягнення ним сталої маси. Повне водонасичення матеріалу досягається його кип'ятінням з наступним охолодженням у воді або під вакуумом.

Водопоглинання за масою визначають як відношення кількості поглинутої води до маси сухого матеріалу. Водопоглинання за об'ємом характеризується ступенем наповненості пор матеріалу водою при насиченні, виражається відношенням об'єму поглинутої води до об'єму матеріалу в природному стані.

Насичення матеріалів водою істотно позначається на інших властивостях: підвищується середня густина, теплопровідність, знижується міцність, морозостійкість.

Вологість – вміст вільної води в порах і на поверхні матеріалу. Вологість визначають у відсотках за масою або об'ємом. Вона може бути абсолютною або відносною.

Абсолютну вологість визначають як відношення маси вологи, яка знаходилась у матеріалі, до маси сухого матеріалу, а відносну – як відношення маси вологи до маси матеріалу у вологому стані.

Вологість матеріалу в будівельних конструкціях залежить від вологості навколишнього середовища, атмосферних явищ (дощ, танення снігу). Із зволоженням погіршуються теплозахисні властивості, морозостійкість та інші показники.

Гігроскопічність – це властивість матеріалу поглинати і конденсувати водяну пару з повітря. Вбирання вологи з повітря обумовлюється адсорбцією водяної пари на внутрішній поверхні пор і капілярною конденсацією. Коли цей процес супроводжується хімічною взаємодією з матеріалом, його називають хемосорбцією. Наприклад, портландцемент при тривалому зберіганні, внаслідок хемосорбції поступово грудкується і втрачає свою активність.

Морозостійкість – це здатність матеріалу витримувати у водонасиченому стані навперемінне заморожування і відтавання без суттєвих втрат міцності й маси.

Під дією від'ємних температур вода у крупних порах замерзає, перетворюючись на лід зі збільшенням об'єму приблизно на 9 %, що призводить до виникнення тиску на стінки пор, який становить близько 210 МПа при температурі – 20 °С. При цьому в матеріалі з'являються внутрішні напруження, які можуть спричинити його руйнування.

Щоб визначити морозостійкість, зразки матеріалу насичують водою, а далі піддають навперемінному заморожуванню при температурі – (18<sup>±</sup>.2) °С і

відтаванню у воді з температурою  $(18 \pm 2)$  °С до певного числа циклів, встановленого нормативними документами, або до початку руйнування зразка.

Марка за морозостійкістю  $F$  – це число циклів наперемінного заморожування та відтавання цілих виробів або зразків з матеріалів у насиченому водою стані при збереженні ними початкових фізичних та фізико-механічних властивостей у нормованих межах.

Цикл випробування, умови якого регламентуються відповідними стандартами, складається з одного заморожування та відтавання зразків протягом визначеного часу.

Залежно від призначення до матеріалів висуваються різні вимоги щодо морозостійкості. Так, рядова цегла повинна мати марку не менше  $F 15$ .

Теплопровідність – це здатність матеріалу передавати теплоту від однієї поверхні до іншої за наявності різниці температур на цих поверхнях. Така здатність характеризується коефіцієнтом теплопровідності.

Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  – кількість тепла, що проходить крізь зразок матеріалу завтовшки 1 м, площею 1 м<sup>2</sup> за 1 секунду при різниці температур на протилежних сторонах зразка в 1 градус.

Вогнева усадка – здатність матеріалів змінювати свої розміри та об'єм внаслідок спікання чи оплавлення частинок під дією високих температур.

Вогнестійкість – це здатність матеріалу витримувати дію високих температур або вогню й води (під час пожеж), не руйнуючись. За ступенем вогнестійкості будівельні матеріали поділяють на три групи: негорючі, важкогорючі й горючі.

Негорючі – це матеріали, які під дією вогню чи високих температур не горять, не тліють і не обвуглюються. Негорючі матеріали поділяють на вогнестійкі, що практично не деформуються (цегла, черепиця, жаростійкий бетон, сієніт), вогнетривкі й термічно стійкі.

Важкогорючі - це матеріали, які під дією вогню чи високих температур злегка займаються, тліють або обвуглюються, а коли віддаляється джерело

вогню, ці процеси припиняються. До таких матеріалів належать здебільшого мінералоорганічні матеріали (асфальтобетон, гідроізол).

Горючі - це матеріали, які під дією вогню чи високих температур займаються або тліють, ці явища тривають і тоді, коли усунуто джерело вогню.

До цієї групи належать деревина, бітуми, полімерні матеріали.

Вогнетривкість – це властивість матеріалу протистояти, не розплавляючись, впливу високих температур. Вона характеризується температурою, під впливом якої зразок випробуваного матеріалу у вигляді зрізаної тригранної піраміди (піроскопа) розм'якшується і деформується так, що його вершина дотикається підставки.

Жаростійкість – це здатність матеріалу за умов тривалої дії температур в заданому інтервалі зберігати або незначно змінювати свої фізичні або механічні властивості.

Радіоактивність будівельних матеріалів обумовлена природними довго існуючими радіонуклідами, переважно радієм (226), торієм (232) та калієм (40).

Радіаційна стійкість – властивість матеріалу протистояти дії радіоактивного випромінювання, яке змінює його структуру і властивості.

Споруди атомної енергетики, деякі науково-дослідні, лікувально-профілактичні установи необхідно захищати від радіоактивного випромінювання, в першу чергу від потоку нейтронів та  $\gamma$ -променів, небезпечних для живих істот. Для захисту від нейтронного випромінювання застосовують матеріали, що містять велику кількість хімічно зв'язаної води (бетони), а від  $\gamma$ -випромінювання – матеріали з великою середньою густиною (особливо важкі бетони, свинець, барит).

### 1.3.2 Механічні властивості

Механічні властивості вказують на здатність матеріалу чинити опір руйнуванню або деформаціям (зміна форми і розмірів) під дією зовнішніх навантажень.



Такими властивостями є твердість, міцність, пружність, розтяжність, пластичність, крихкість. Будівельні матеріали в спорудах зазнають дії різних зовнішніх сил та інших факторів, які можуть призвести до появи тріщин, зміни початкової форми без зміни структури, зниження міцності та інших явищ, пов'язаних із фізико-механічними властивостями.

Міцність – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають під дією різних зовнішніх навантажень. У процесі експлуатації будівель і споруд будівельні матеріали найчастіше зазнають напружень стиску, згину, розтягу, зрізу та удару.

Будівельні матеріалу неоднаково сприймають різні навантаження. Це залежить від хімічного та мінералогічного складів матеріалу, структури й будови. Так, природні кам'яні матеріали, цегла і бетон добре працюють на стиск, але погано на розтяг і згин. На розтяг вони витримують навантаження в (10...15) разів менші, ніж на стиск.

Міцність будівельних матеріалів характеризується межею міцності при стиску, згині тощо. Вона чисельно дорівнює напруженню в матеріалі, яке відповідає навантаженню, що призвело до руйнування зразка і вимірюється в МПа.

Зразки будівельних матеріалів випробовують на спеціальних пресах до руйнування, а межу міцності при стиску, МПа, обчислюють за формулою

$$R_{ст} = P / F, \quad (1.28)$$

де  $P$  – руйнівне навантаження (сила), МН;

$F$  – площа поперечного перерізу зразка до випробування,  $m^2$ .

Крім традиційних руйнівних методів, для визначення міцності будівельних матеріалів можна застосовувати також неруйнівні методи, наприклад, ультразвуковий.

Водостійкість – це здатність матеріалу зберігати фізико-механічні властивості у насиченому водою стані, характеризується коефіцієнтом

розм'якшення  $K_p$ . Цей показник визначається відношенням міцності насиченого водою матеріалу до його міцності в сухому стані.

Межу міцності при згині визначають на зразках – балочках квадратного чи прямокутного перерізу, розміри яких встановлені відповідними стандартами, а також на натурних зразках (цегла, черепиця, азбестоцементні листи).

Випробування на згин виконують за схемою балки, встановленої на двох опорах при зосередженому навантаженні, прикладеному симетрично відносно осі балки, до її руйнування. Межа міцності на згині, МПа, якщо навантаження зосереджене й прикладене в центрі,

$$R = 3P / 2bh^2, \quad (1.29)$$

$$R = 3P (l - a) / 2bh^2, \quad (1.30)$$

де  $P$  – руйнівне навантаження (сила),

$l$  – відстань між опорами, м;

$b, h$  – ширина й висота поперечного перерізу зразка, м;

$a$  – відстань між точками прикладання двох навантажень, м.

Під час експлуатації в спорудах допускаються напруження, значно нижчі за межу міцності  $Z$ .

Для порівняльної оцінки ефективності різних матеріалів використовують коефіцієнт конструктивної якості, МПа, який характеризується відношенням межі міцності при стиску або розтягу до відносної густини.

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір місцевим деформаціям, які виникають тоді, коли в нього проникають інші, твердіші тіла.

Твердість металів, бетону, деревини та деяких інших матеріалів визначають, вдавлюючи у зразки з певним зусиллям кульку або наконечник (конус, піраміду). Ступінь твердості встановлюють за розміром відбитка. Число твердості за Брінеллем (НВ) визначають відношенням прикладеного навантаження  $P$  до площі поверхні відбитка  $F$  і обчислюють за формулою, МПа

$$HB = P / F. \quad (1.31)$$

Ступінь твердості мінералів гірських порід визначають за шкалою порівняльної твердості Мопса, яка складається з десяти мінералів – еталонів: тальк – 1; гіпс – 2; кальцит – 3; плавиковий шпат – 4; апатит – 5; ортоклаз – 6; кварц – 7; топаз – 8; корунд – 9; алмаз – 10.

Стиранність – це властивість матеріалу чинити опір впливу стиральних зусиль. Стиранність залежить від твердості матеріалу і характеризується зменшенням маси на одиницю площі поверхні зразка, що стирається, і визначається за формулою, кг/м<sup>2</sup>

$$И = (m_1 - m_2) / F, \quad (1.32)$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маси зразка відповідно до й після стирання, кг;  $F$  – площа стиранок поверхні, м<sup>2</sup>.

Показник стиранності має вирішальне значення під час вибору матеріалу для підлог, дорожніх покриттів тощо.

Ударна міцність – це здатність матеріалу протидіяти руйнуванню при короткочасному навантаженні ударного характеру. Природні й штучні кам'яні матеріали, які застосовуються для влаштування доріг, підлог, фундаментів під молоти, зазнають у процесі експлуатації ударних впливів.

Ударна міцність  $R_{уд}$  Дж/м<sup>3</sup>, характеризується роботою, затраченою на руйнування зразка матеріалу й віднесеною до одиниці об'єму матеріалу, і обчислюється за формулою

$$R_{уд} = nqh / V, \quad (1.33)$$

де  $n$  – кількість ударів;  $q$  – вага гирі, Н;  $h$  – висота її падіння, м;  $V$  – об'єм зразка, м<sup>3</sup>.

Опір зношуванню визначають переважно для дорожніх матеріалів, а також для матеріалів підлог, які в процесі експлуатації зазнають одночасної дії стирання і ударів. Зношування визначають у спеціальних барабанах із кулями за втратою маси завантаженого в прилад матеріалу (% до початкової маси).

Деформативні властивості. Під дією зовнішніх сил у будівельних конструкціях виникають деформації різного походження. Деформативні властивості матеріалів визначаються пружністю, пластичністю, крихкістю.

Пружність – це здатність твердого тіла деформуватися під дією зовнішніх сил і самочинно відновлювати початкову форму та об'єм після припинення дії навантаження. Пружну деформацію, яка повністю зникає із зняттям зовнішніх сил, називають оборотною. Якщо форма тіла відновлюється частково, то мають місце залишкові деформації. Для деяких високоеластичних матеріалів, наприклад, каучуку, пружна деформація може перевищувати 100 % внаслідок розриву зв'язків випрямлених молекул, тобто об'єм матеріалу після зняття навантаження може бути більший за початковий.

Межа пружності – це найбільше напруження, при якому залишкові деформації мають найменше (допустиме за нормами) значення, тобто матеріал практично зазнає оборотних пружних деформацій.

Модуль пружності  $E$ , МПа, характеризує жорсткість матеріалу, тобто його здатність деформуватися під дією зовнішніх сил.

Пластичність – це властивість матеріалу змінювати без руйнування форму й розміри під впливом навантаження або внутрішніх напружень, стійко зберігаючи утворену форму і розміри після припинення цього впливу. Такі пластичні (залишкові) деформації називають необоротними.

Крихкість – це властивість твердих матеріалів руйнуватися під впливом механічних напружень, які в них виникають, без помітної пластичної деформації. Ця властивість протилежна пластичності.

Повзучість – це властивість матеріалів повільно й безперервно деформуватися під впливом постійного навантаження. Для деяких матеріалів

(бетону, гіпсових, азбестоцементних виробів) ця здатність спостерігається при звичайних температурах, для металів – при підвищених.

### 1.3.3 Хімічні властивості

Хімічні властивості характеризують здатність матеріалу до хімічних перетворень при взаємодії з речовинами, що контактують з ним. До них належать: розчинність, кислотостійкість, лугостійкість, токсичність та інші.

Кислотостійкість – це здатність матеріалу (виробу) чинити опір дії розчинних кислот або їхніх сумішей у межах, встановлених нормативними документами. Наприклад, кислотостійкість каналізаційних керамічних труб становить не менше 92 % (тобто втрати за масою – до 8 %).

Лугостійкість – це здатність матеріалу (виробу) чинити опір дії лугів у межах, встановлених нормативними документами.

Токсичність – це здатність матеріалу в процесі виготовлення й особливо експлуатації за певних умов виділяти шкідливі для здоров'я людини (отруйні) речовини.

Розчинність – це здатність матеріалу розчинюватись у воді, олії, бензині, скипидарі та інших речовинах-розчинниках.

Корозійна стійкість – це здатність матеріалу не руйнуватися під впливом речовин, з якими він стикається у процесі експлуатації.

Корозійному руйнуванню піддаються не тільки метали, але й кам'яні матеріали, бетони, пластмаси, деревина. Корозія обумовлена хімічними та електрохімічними процесами, які відбуваються у твердих тілах при взаємодії із зовнішнім середовищем.

### 1.3.4 Технологічні властивості

Група технологічних властивостей характеризує здатність матеріалу до сприйняття певних технологічних операцій, виконуваних з метою зміни його

форми, розмірів, характеру поверхні, щільності тощо. До них відносять, наприклад, формувальність, подрібнюваність, розпилюваність, пробійність, полірувальність.

Формувальність характеризує здатність матеріалу набирати певної форми внаслідок різних механічних впливів (вібрування, пресування, видавлювання, прокатування). Вона залежить від в'язкопластичних властивостей вихідних мас (глиняне тісто, розчинова і бетонна суміш, полімерні маси).

Подрібнюваність – це здатність матеріалу до диспергації внаслідок механічної дії переважно ударних навантажень з утворенням зернистого матеріалу у вигляді щебеню та піску.

Розпилюваність – це здатність матеріалу сприймати пиляння без істотного порушення структури. Прикладами матеріалів, що піддаються розпилюванню, є деревина, м'які гірські породи.

Пробійність виражає здатність матеріалу утримувати цвяхи й шурупи за певних умов висмикування. Висока пробійність притаманна деревині й ніздрюватому бетону.

Полірувальність - це здатність матеріалу сприймати обробку тонкими абразивними матеріалами. При цьому створюється гладенька блискуча поверхня. Найчастіше поліруванню піддають природні кам'яні матеріали (мармур, граніт, кварцит).

#### 1.4 Теплопровідність будівельних матеріалів

У приміщеннях цивільних будівель залежно від їх функціонального призначення повинні забезпечуватися санітарно-гігієнічні умови, що визначають мікроклімат внутрішнього середовища. Мікроклімат приміщень характеризується температурою повітря, її коливаннями в часі й змінами за об'ємом, температурою поверхонь обгороджувальних, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря в приміщенні, а також гігієнічним станом повітря і наявністю або відсутністю агресивних дій на стіни. Параметри

мікроклімату визначаються Державними будівельними нормами (ДБН) та Державними стандартами (ДСТУ) і враховують вказані вище чинники, а також вид діяльності людей, що знаходяться в приміщенні. Основні параметри мікроклімату, що забезпечують комфортне теплове сприйняття людиною, подано в таблиці 1.1 [8].

Таблиця 1.1- Значення параметрів мікрокліматуу приміщеннях житлових і громадських будівель

Параметри	Од. вимір.	Допустимі рівні	Оптимальні значення
1	2	3	4
Температура повітря	°С	17 (зима) 28 (літо)	20...22 (зима) 22...25 (літо)
Градiєнт температури повітря по горизонталі	°С	3,0	2,0
Градiєнт температури повітря по вертикалі	°С	3,0	2,0
Різниця температури «повітря – огороження»	°С	4...6	2,0
Температура скла	°С	10...32	20
Температура підлоги	°С	18...28	24
Швидкість руху повітря	м/с	0,15...0,30 (зима) 0,30...0,50 (літо)	0,10...0,20 (зима) 0,20...0,30 (літо)
Вологість повітря	%	до 60	30...45

Для забезпечення в приміщеннях вимог мікроклімату і обмеження витрати теплової енергії, що втрачається будівлею через стіни, потрібно щоб стіни мали достатні теплозахисні властивості [14]. На теплозахисні властивості стін суттєвий вплив роблять теплофізичні властивості використовуваних будівельних матеріалів і умови їх експлуатації [9].

Зовнішні стіни є одним з основних елементів оболонки будівлі, що забезпечують необхідні параметри мікроклімату приміщень. В процесі експлуатації стіни знаходяться під постійним комплексним впливом численних чинників зовнішнього і внутрішнього середовища, а саме конкретних природнокліматичних умов (температура і вологість зовнішнього повітря; вид, кількість і характер випадання опадів; швидкість і напрям вітру; сонячна радіація та ін.) і параметрів мікроклімату усередині будівлі. Вид і рівень впливу цих чинників повинні бути враховані як на стадії проектування, так і в процесі експлуатації стін, наприклад, нанесенням додаткових захисних шарів.

### 1.5 Сучасна промисловість будівельних матеріалів

Про стан економіки будь-якої держави можна судити за обсягами капітального будівництва, тому промисловість будівельних матеріалів справедливо називають індикатором інвестиційної активності. Сучасна промисловість будівельних матеріалів - це комплексна галузь, яка містить у собі більше двадцяти самостійних підгалузей, багато з яких, у свою чергу, нараховують у своєму складі кілька видів виробництв, при цьому кожна підгалузь утворює свій ринок, який функціонує самостійно, утворюючи в сукупності загальний ринок будівельних матеріалів. Промисловість будівельних матеріалів є великою складовою економіки будь-якої країни.

Ця галузь, будучи основною матеріальною базою для будівельного комплексу, істотно впливає на темпи зростання в інших галузях економіки і соціально-економічний стан суспільства в цілому [18]. Промисловість будівельних матеріалів включає виробництво основних видів будівельних матеріалів - цементу, цегли та інших стінових матеріалів, бетону і бетонних конструкцій, асбоцементних виробів, плитки керамічної, брущатки, теплоізоляційних матеріалів, покрівельних матеріалів і багатьох інших.



Промисловість будівельних матеріалів містить у собі наступні підгалузі:

- виробництво цементу;
- виробництво вапняних, гіпсових і місцевих в'язких матеріалів виробів;
- виробництво бетонних і збірних залізобетонних конструкцій і виробів;
- виробництво стінових матеріалів;
- виробництво будівельної кераміки;
- виробництво азбестових і азбестоцементних виробів;
- виробництво полімерних будівельних матеріалів;
- виробництво м'яких покрівельних і гідроізоляційних матеріалів;
- виробництво облицювальних матеріалів і виробів з природного каменю;
- виробництво пористих заповнювачів;
- виробництво теплоізоляційних матеріалів;
- виробництво нерудних будівельних матеріалів;
- виробництво санітарно-технічних виробів;
- виробництво опалювальних систем;
- склоробне виробництво;
- деревообробне виробництво;
- виробництво лакофарбових матеріалів.

## 1.6 Сучасний ринок будівельних матеріалів

За даними Державної служби статистики України (Державного стандарту України) виробництвом будівельних матеріалів в Україні займається майже 9 тис. підприємств, більша частина яких зосереджена у Київській, Львівській, Харківській, Донецькій, Сумській та Житомирській областях. Проте асортимент та якість продукції вітчизняних виробників не завжди задовольняє потреби сучасного будівництва. Суттєве відставання обумовлене недостатнім технічним рівнем виробництва, для підвищення якого необхідні інноваційні та інвестиційні проекти. Сучасний ринок будівельних матеріалів в Україні характеризується наступними головними трендами. За оперативною

інформацією Державного стандарту України за 2014 року порівняно з 2013 року зросли обсяги виробництва:

Граніту – на 146,4 % (вироблено 831,0 тис.м<sup>3</sup>); скла листового гнутого, гранованого, гравірованого, свердлень, емальованого або обробленого іншим способом, але не встановленого в раму або оправу – на 89,2 % (вироблено 187,5 тис. м<sup>2</sup>); блоків та цегли з цементу, на 67,6 % (вироблено 148,5 млн. шт. ум. цегли); плиток, плит, бетону або штучного каменю – на 46,8 % (вироблено 16,0 тис. т); металоконструкцій будівельних збірних – на 35,0 % (вироблено 8,1 тис. т); шлаковати, вати мінеральної силікатної та аналогічних мінеральних ват (включно суміші) в блоках, листах чи рулонах – на 31,4 % (вироблено 340,6 тис. м<sup>3</sup>); блоків з ніздрюватих бетонів – на 18,9 % (вироблено 74,0 млн. шт. ум. цегли); цецементу – на 13,6 % (вироблено 708,9 тис. т); сумішей будівельних та бетонів (сухих) – на 6,4 % (вироблено 125,6 тис. т); гіпсових сумішей – на 4,9 % (вироблено 74,9 тис. т); вироби санітарно-технічні керамічні – на 2,3 % (вироблено 718,9 тис. шт.) [19]

### 1.7 Аналіз ринку керамічної цегли

Оскільки ринок будівельних матеріалів має значну кількість секторів і вони значно відрізняються за основними параметрами, у даному дослідженні розглянуто сектор виробництва цегли.

Керамічна цегла – традиційний український матеріал, що відповідає кліматичним умовам країни і використовується для будівництва й оздоблення. Вагомим фактором сприяння зростанню обсягів виробництва і реалізації цегли є зростання будівництва житлових комплексів та інших приміщень. До того ж, як відзначають експерти, елітний зовнішній вигляд керамічної цегли підкреслює статус власника будівлі, і тому набуває все більшої популярності у найвибагливішого споживача. Динаміка обсягів виробництва цегли безпосередньо пов'язана з динамікою обсягів будівництва, що обумовлює попит на цеглу:

1. Динаміка виробництва корелюється з динамікою будівництва (із затримкою на 1-2 роки).

2. В секторі працюють близько 200 малих місцевих виробників.

3. Спостерігається швидкий розвиток виробництва високоякісної цегли за високою ціною.

4. Зростає конкуренція з боку інших стінових матеріалів (виробів з газобетону).

Структура попиту на керамічну та облицювальну цеглу залишається стабільною впродовж останніх декількох років. Однак обсягів виробництва облицювальної цегли недостатньо для задоволення існуючого на неї попиту (на сьогодні частка облицювальної цегли складає 14 %, тоді як 86 % припадає на керамічну цеглу). З огляду на це, високий дефіцит облицювальної цегли на ринку відшкодовується за рахунок цегли підвищеної якості. У зв'язку з тим, що найперспективнішими сегментами будівництва є котеджі, висотні житлові будівлі, офісні та торговельні приміщення, а найбільша частка облицювальної цегли використовується у котеджному будівництві, ймовірно, частка ринку облицювальної цегли в майбутньому може зрости. Тенденція регулярного збільшення ціни на продукцію є класичною для галузі. Виробники пояснюють зростання цін подорожчанням газу й електроенергії (в собівартості цегли газ і електроенергія складають до 40 %, глина — 15 %, зарплата — (10...15) %).

Аналітиками компанії Pro-Consulting було проведено дослідження ринку цегли в Україні. В результаті проведеного дослідження, можна зробити висновок, що даний ринок в 2017 році знаходився в стані зростання, але в першій половині 2018 року відмічена тенденція зниження обсягу виробництва і ємності ринку цегли на 7 %. Зниження виробництва відбулось у сегменті керамічної будівельної цегли - 8,3 %. Основна причина зниження пов'язана із зростанням вартості житла (через введення нових Містобудівних норм), що спричинило падіння попиту на житло і знизило кількість нових будівництв.

Ринок цегли України орієнтований на внутрішнє споживання. Частка вітчизняної продукції становить близько 96 % ємності ринку. Це пов'язано з

тим, що українська цегла переважно є дешевшою за імпорту, оскільки відсутні витрати на міжнародні перевезення і розмитнення продукції - ставка ввізного мита для цегли становить 10 %.

Серед інших тенденцій можна також виділити посилення фактору географічної близькості виробника до сировини. В основному компанії-забудовники під час виконання будівельних робіт намагаються купляти цеглу на підприємствах, які розміщені неподалік, що дозволяє заощаджувати на логістиці.

Основну частку ринку цегли України займає керамічна будівельна продукція (не вогнетривка), її частка становить близько 89 % ємності ринку [20].

За даними Державної служби статистики України на (див. рис. 1.5) приведено частки продукції у розрізі видів (вогнетривка цегла, не вогнетривка цегла) в 2017 році, у натуральному виразі, %



Рисунок 1.5 - Частки продукції у розрізі видів (вогнетривка цегла, не вогнетривка цегла) в 2017 році, у натуральному виразі, %

Попит на будівельну керамічну цегли (не вогнетривку) в першій половині 2018 року скоротився. Скорочення викликане зменшенням обсягів будівництва в житловому секторі. Виробництво вогнетривкої цегли за вказаний період було більш стабільним, оскільки воно орієнтоване на більш широкий

спектр споживачів (металургійна і коксохімічна промисловість, виробництво скловиробів, приватне будівництво з вогнетривкої цегли тощо).

Незважаючи на наявність на ринку великої кількості заміників цегли: газобетон, пінобетон, залізобетонні конструкції та інші, керамічна цегла залишається основним матеріалом при зведенні стін – 48 % у 2017 році.

Якщо оцінювати рівень конкуренції на даному сегменті ринку, то слід зазначити, що вхідні бар'єри в галузь будівельних матеріалів в цілому, і будівельної цегли зокрема, не відзначаються великою силою, оскільки виробництво цієї продукції не є надто капіталомістким, забезпеченість основною сировиною (глиною) досить хороша, технологія виробництва нескладна, а підприємства в основному задовольняють регіональні потреби. Серед головних бар'єрів при проникненні на даний сегмент ринку можна відзначити в основному високий рівень енергомісткості виробництва та вимоги до екологічно чистого виробництва. Слід також відзначити і роль та вплив конкуренції, яка має досить високий рівень в галузі.

Незважаючи на падіння обсягів виробництва, не завжди задовільні показники економічної діяльності, що обумовлено наслідками фінансової кризи, підприємства неохоче припиняють діяльність через бар'єри, які стають на перешкоді при виході з галузі: профспілкова опозиція, необхідність списання значних інвестицій, небажання втратити свій імідж. За оцінкою підприємств, основними засобами конкурентної боротьби на внутрішньому ринку є встановлення найбільш привабливої ціни, ефективне функціонування мережі збуту товару і краща, ніж у конкурентів, якість продукції.

Збільшення товарного попиту на ринку реалізації будівельних матеріалів та, відповідно, його поступове зростання зумовлене підвищенням нормативних вимог до будівельних матеріалів та відповідним переоснащенням виробництв, що посилить конкуренцію вітчизняних товарів в ході реалізації цільових програм з будівництва об'єктів житлового та виробничого призначення. Отже, сучасний стан ринку будівельних матеріалів в Україні характеризується збільшенням обсягів виробництва, зростанням цін на будівельну продукцію і

нестабільністю економічної ситуації. Спостерігається стійка динаміка зростання експорту над імпортом за основними будівельними матеріалами.

Сектор виробництва цегли характеризується такими основними показниками: виробництво цегли корелює з обсягами будівельної діяльності в Україні, відстаючи на 1-2 роки; в цілому, обсяги реалізації цегли постійно зростають, що обумовлено різними причинами, в т.ч. адекватною ціновою політикою виробників; рівень конкуренції і бар'єри для входу на ринок у секторі незначні. Виявлена структура ринку будівельних матеріалів дозволяє робити подальші висновки про його потенціал, а також про можливі стратегічні рішення кожного його учасника. Перспективи подальших досліджень можуть бути спрямовані на визначення конкретних кількісних і якісних показників, які характеризують стан ринку будівельних матеріалів в Україні.

## 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ БУДІВЕЛНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1 Дослідження коефіцієнту теплопровідності цегли

#### 2.1.1 Роль цегли як стінового матеріалу

Цегла є одним з прадавніх штучно створених людством матеріалів, який широко застосовується в будівництві. Як стіновий будівельний матеріал цегла знайшла широке застосування і в Україні. З нього за багато сотень років на території України зведено багато будівель, які мають економічну, історичну, культурну і архітектурну цінність.

Стіни є основним елементом остову будівлі, які спільно з фундаментами і перекриттями забезпечують його жорсткість і стійкість. Отже, зовнішні тримкі стіни повинні виконуватися з міцних матеріалів. Однак такі матеріали мають підвищену теплопровідність. Оптимальне поєднання міцності й теплоізоляції є в цегли.

На сьогоднішній день індустрія будівельних матеріалів виготовляє багато різноманітних типів цегли (суцільну, пористу і порожнинну, випалювального і автоклавного твердіння, звичайну і полегшену, стінову і облицювальну тощо).

Для розробки будівельних проектів, розрахунків параметрів проєктованих будівель необхідно мати достовірні показники властивостей конкретних матеріалів, які застосовуватимуться в будівництві конкретного об'єкта.

Сучасна довідкова база дає можливість за нормативною документацією визначити практично всі технічні характеристики існуючих будівельних матеріалів, але, на жаль, фактичні характеристики реальних матеріалів дуже часто суттєво відхиляються від вказаних в Державних будівельних нормах.

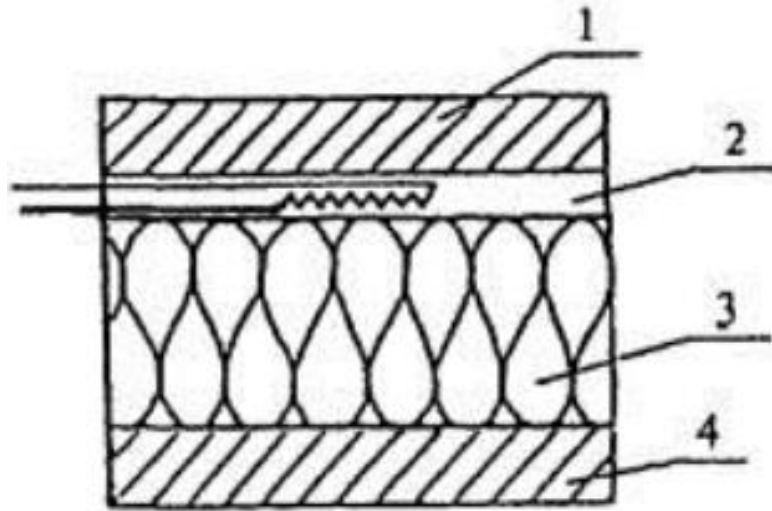
Саме тому виникає необхідність виконувати дослідження конкретних будівельних матеріалів, зокрема і тих, які опрацьовані в дипломній роботі.

## 2.2 Нормативна база для визначення теплопровідності будівельних матеріалів і виробів

Державний стандарт ДСТУ В.2.7-295:2011 «Матеріали і вироби будівельні. Методи визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі» [15] є чинним у 8 країнах, в т.ч. в Україні. Стандарт поширюється на будівельні матеріали і вироби і встановлює метод визначення їх теплопровідності.

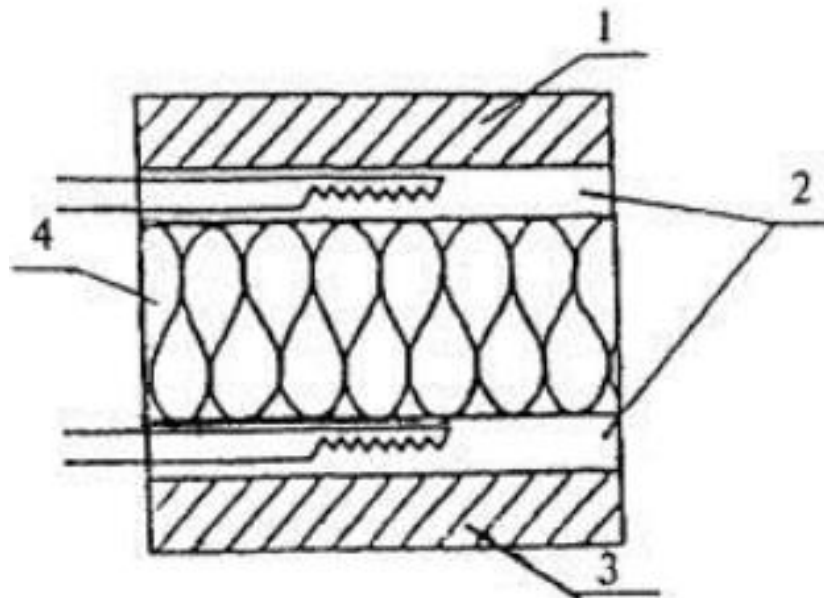
Суть методу полягає у створенні теплового потоку, який проходить через плоский зразок певної товщини і спрямований перпендикулярно до лицьових граней зразка, вимірюванні температури протилежних лицьових граней і товщини зразка. Конструктивно це реалізується в приладах з одним (див. рис. 2.1) і двома (див. рис. 2.2) тепломірами.





1-нагрівник; 2-тепломір; 3-зразок; 4-охолоджувач

Рисунок 2.1 – Прилад з одним тепломіром



1-нагрівник; 2-тепломір; 3-охолоджувач; 4-зразок

Рисунок 2.2- Прилад з двома тепломірами

Нормативні показники для умов випробування подано в таблиці 2.1, а метрологічні показники для умов випробувань подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Нормативні показники для умов випробування

Назва показника	Характеристика показника
Діапазон температур	від (-) 40 до (+) 200°C
Тепловий потік	стаціонарний
Необхідна кількість зразків	2
Температура повітря при випробуваннях	(22±5) °C
Форма зразка для випробування	прямокутний паралелепіпед
Відхилення від паралельності лицьових граней зразка	не більше 0,5 мм
Форма лицьових граней зразка	площина прямокутної форми
Розміри лицьових граней зразка	рівні за розмірами з робочими плитами приладу
Відносна вологість повітря при випробуваннях	(50±10) %

Таблиця 2.2 – Метрологічні показники для мов випробувань

Назва показника	Характеристика показника
Прилад визначення теплопровідності	В залежності від необхідної точності результатів
Штангенциркуль ШЦ-I-125X0,1	Діапазон (0...125) мм, точність 0,1 мм
Штангенциркуль ШЦ-II -250X0,05	Діапазон (0...250) мм, точність 0,05 мм
Лінійка сталевна	Діапазон (0...1000) мм, точність 0,5 мм
Ваги лабораторні	Діапазон (0...5) кг, точність 0,1 г.
Електрошафа сушильна	Нагрів до 110°C похибка до 5°C

Допускається застосування інших приладів та засобів вимірювання з метрологічними показниками не нижчими, ніж вказані в стандарті [22-27].

Зразок для випробувань встановлюють в прилад. При горизонтальному розміщенні зразка напрям теплового потоку повинен бути зверху вниз.

Прилад повинен мати каркас з ізоляцією бокових граней досліджуваного зразка шаром теплоізоляційного матеріалу. Прилад повинен бути оснащений пристроєм, який створює постійний тиск на досліджуваний зразок або підтримує постійний зазор між робочими поверхнями плит приладу.

Випробування повинні проводитися в попередньо тарованому приладі. Тарування приладу слід виконувати за допомогою трьох атестованих стандартних зразків термічного опору, виготовлених з оптичного кварцового скла, органічного скла, пінопласту або скловолокна. Розміри стандартних зразків повинні бути рівні розмірам зразків, які підлягають випробуванням. В процесі тарування приладу температура лицьових граней стандартних зразків повинна бути відповідно рівна тим температурам, які в процесі випробувань будуть мати лицьові грані досліджуваного зразка.

За результатами випробувань визначають густина теплового потоку даного приладу.

Тарування приладу виконують впродовж 24 год. перед випробуваннями або після випробувань. Якщо згідно результатів тарування, виконаних впродовж 3 місяців, зміни тарувального коефіцієнта не перевищують  $\pm 1\%$ , то такий прилад можна тарувати 1 раз в 15 днів.

Товщину зразка паралелепіпеда вимірюють штангенциркулем з точністю 0,1 мм в чотирьох кутах на віддалі  $(50 \pm 5)$  мм від вершини кута і посередині кожної сторони. Довжину і ширину зразка визначають за допомогою лінійки з похибкою не більше 0,5 мм.

Визначають масу зразка  $M_1$  при його отриманні від постачальника. Зразок висушують до постійної маси. Зразок вважається висушеним до постійної маси, коли втрата його маси після чергового висушування впродовж 0,5 год не перевищує 0,1 %. Після закінчення сушки визначають масу зразка  $M_2$  і його густина  $\rho_u$

Впродовж випробування різниця температур лицьових граней зразка повинна бути  $(10 \dots 30)^\circ\text{C}$ .

При випробуваннях встановлюють значення робочих температур плит приладу і послідовно через кожних 300 с виконують вимірювання температури лицьових граней зразка.

Тепловий потік через досліджуваний зразок вважають стаціонарним, якщо значення термічного опору зразка, визначені за результатами 5 послідовних вимірювань сигналів датчиків температур і густини теплового потоку відрізняються один від одного не більше 1 %, при цьому ці величини не зростають і не спадають монотонно.

Відносна похибка визначення ефективної теплопровідності і термічного опору за даним методом не перевищує  $\pm 3$  %, якщо випробування виконані згідно з вимогами цього стандарту.

### 2.3 Промислові прилади для експериментального визначення теплопровідності матеріалів

Для визначення коефіцієнта теплопровідності твердих матеріалів різної структури розроблено декілька промислових приладів (див. табл. 2.3) [6,7,11].

Вимірювач теплопровідності ИТП-МГ4 призначений для визначення коефіцієнта теплопровідності і термічного опору будівельних матеріалів (кераміка, скло, бетон, дерево) при стаціонарному тепловому режимі (див.рис. 2.3). Конструктивно вимірювач теплопровідності виконаний у вигляді двох блоків: установки для нагрівання (охолодження) зразків і вимірювального блоку.

Принцип роботи вимірювача теплопровідності ИТП-МГ4 полягає у створенні стаціонарного теплового потоку, який проходить через плоский зразок певної товщини і спрямованого перпендикулярно до лицьових граней зразка, вимірюванні товщини зразка, густини теплового потоку і температури двох протилежних лицьових граней.

В корпусній частині приладу розміщено теплоізольовану камеру з площадкою для встановлення досліджуваного зразка, блок стабілізованого

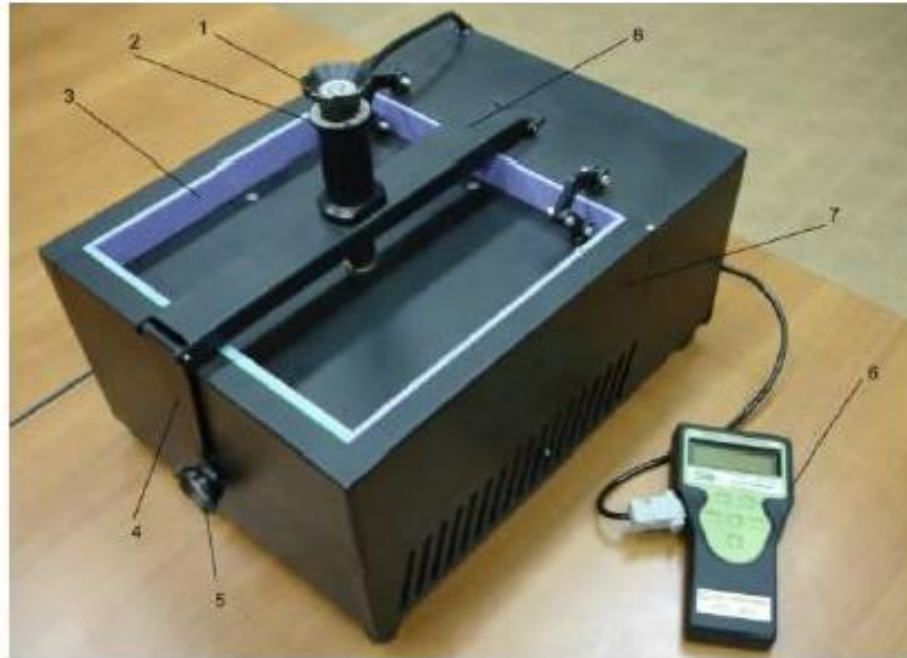
живлення, нагрівник, два термодавачі для вимірювання температури на нижній і верхній лицьових гранях зразка.

У верхній частині приладу розміщений затискний гвинт 1 з відліковим пристроєм 2 для визначення товщини зразка і динамометричним пристроєм з тріскавкою для створення постійного зусилля притискання досліджуваного зразка.

Таблиця 2.3 – Характеристика промислових приладів для вимірювання теплопровідності твердих матеріалів різної структури

Тип приладу	Досліджувані матеріали	Діапазон температур, °С	Діапазон вимірювань $\lambda$ , Вт/м · °С
ИТО -20	тверді	(20...100)	(0,1...5)
ИТЭМ-1	метали, сплави, кераміка	(50...100)	(0,2...80)
ИТ- $\lambda$ -20	тверді	(20...100)	(0,1...10)
ИТ- $\lambda$ -400	пластмаса, скло, кераміка	(20...400)	(0,1...10)
КДМ- $\lambda$ -900	тверді	(50...900)	(10...100)
РТК-20	м'які, шкіра, тканина, вовна	20	(0,03...1,5)
ИТС-2	теплоізоляція	(20...400)	(0,1...5,0)
ИТСМ-1	грубодисперсні	(-150...(+)100)	(0,02...1,5)
ИТП-МГ4	кераміка, скло, бетон, дерево	(20...100)	(0,1...10)

Розрахунок коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  досліджуваного зразка виконується обчислювальним пристроєм приладу за залежністю (див. рис. 2.3)



1 – притискний гвинт; 2 – відліковий пристрій товщини зразка;  
3 – теплоізоляція; 4 – поводок; 5 – ексцентриковий замок; 6 – відліковий блок;  
7 – корпус; 8 - коромисло

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд вимірювача теплопровідності ИТП-МГ

2.4 Конструктивні особливості розробленого приладу для визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів

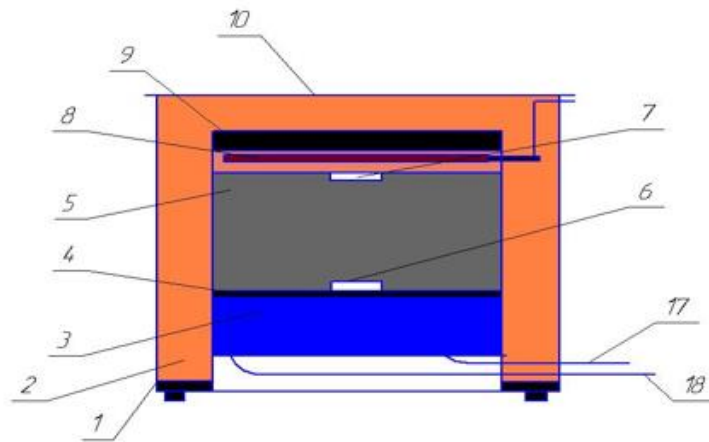
Конструкція приладу для визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів розроблена на підставі теоретичних основ теплотехнічних досліджень матеріалів за методом пластини та вимог нормативних документів. Крім того були враховані і реалізовані конструктивні особливості промислового вимірювача теплопровідності ИТМ-МГ4.

Прилад розроблений для дослідження теплопровідності стінових будівельних матеріалів, зокрема цегли. Виходячи з цього конструкція приладу передбачає встановлення зразків лише з розмірами 250x120x65 мм. Причому тепловий потік через зразок в приладі проходить перпендикулярно до граней 250x65 мм, що відповідає реальним умовам експлуатації цегли. Така особливість приладу дає можливість адекватно порівнювати теплопровідність суцільної стінової цегли, цегли з отворами і облицювальної пустотілої цегли з врахуванням анізотропії останніх.

Прилад забезпечує можливість дослідження теплопровідності й інших матеріалів за умови виготовлення зразків у вигляді прямокутного паралелепіпеда з розмірами 250x120x65 мм. Для навчальних цілей допускається тарування приладу за допомогою попередньо висушеної суцільної керамічної цегли, теплотехнічні характеристики якої визначені на атестованому приладі.

Конструктивно прилад складається зі сталюого коробчастого кожуха 1, внутрішня порожнина стінок в якому заповнена тепло ізолюючим матеріалом (мінеральною ватою) 2. В нижній частині приладу встановлено рідинний охолоджувач 3, через який прокачується термоконстантна рідина, що забезпечує стабільну температуру контактної плити 4. На контактну плиту 4 встановлюють зразок для випробування 5 нижньою лицьовою гранню, до якої закріплено тепломір 6. На верхню лицьову грань зразка встановлено тепломір 7 і нагрівник 8. Нижня частина нагрівника 8 виконана у вигляді контактної площадки за розміром зразка, а верхня частина – у вигляді масивної сталюї плити 9 товщиною 6 мм для забезпечення постійного контактного зусилля між нагрівником і верхньою лицьовою поверхнею зразка. Зразок встановлюють для випробувань через верхню кришку 10, попередньо забравши з верхньої частини короба тепло ізолятор 2 і нагрівник 8.

Конструкцію приладу подано на Рисунку 2.4



1 – кахлю, 2 – теплоізолятор, 3 – охолоджувач, 4 – контактна плита, 5 – зразок,  
6 – нижній термодавач, 7 – верхній термодавач, 8 – нагрівник, 9 – притискач,  
10 – верхня кришка, 11, 12 – напорний і зливний патрубкі охолоджувача, 13 – нижня кришка

Рисунок 2.4 - Конструкція приладу для експериментального визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів

Виконуємо експериментальний розрахунок коефіцієнта теплопровідності суцільної та керамічної цегли з пустотами.

Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів виконано з врахуванням методичних особливостей, які розроблені і використані іншими дослідниками.

Перед початком експериментальних досліджень слід перевірити справність приладу візуально (відсутність видимих пошкоджень електричних провідників, слідів пошкодження конструктивних елементів, роботу нагрівника та тепломірів (перед ввімкненням нагрівника обидва прилади повинні показувати однакову температуру, яка рівна температурі повітря в приміщенні)).



Виконуємо розрахунок теплотехнічних характеристик для керамічної цегли.

Визначено густину теплового потоку, яку формує наш прилад.  
 $q_1 = (41 \dots 44), \text{Вт/м}^2$

Дослідження виконано таким чином. Зразок встановлюють в прилад і вмикають нагрівання. Фіксують покази нижнього і верхнього термоміра через 15 хв. Аж до встановлення стаціонарного теплового потоку, тобто коли покази термомірів, визначені за результатами 5 послідовних вимірювань, відрізняються один від одного не більше (1...3) %, при цьому ці величини не зростають і не спадають монотонно. (див. табл. 2.4)

Таблиця 2.4 – Температурні показники для керамічної цегли

Температура верхнього термоміра $t_r, ^\circ\text{C}$	Температура нижнього термоміра $t_x, ^\circ\text{C}$	Середня температура $t_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$	Температурний градієнт $\Delta t, ^\circ\text{C}$
30,0	20,0	5	10
32,2	20,10	6,05	
32,5	20,25	6,13	
32,8	20,34	6,23	
33,4	20,46	6,47	

Після встановлення стаціонарного теплового потоку визначаємо коефіцієнт теплопровідності цегли  $\lambda_{\text{цегли}}, \text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$  враховуючи температуру за показами термомірів.

$$\lambda_{\text{цегли}} = q \cdot \frac{\delta}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

де  $q$  – густина теплового потоку,  $\text{Вт/м}^2$

$\delta$  – товщина зразка 120мм,

$\Delta t$  – температурний градієнт 10 °С.

$$1) \lambda_{\text{цегли}} = 41,6 \cdot \frac{120 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,50,$$

$$2) \lambda_{\text{цегли}} = 43,3 \cdot \frac{120 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,52,$$

$$3) \lambda_{\text{цегли}} = 43,4 \cdot \frac{120 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,521,$$

$$4) \lambda_{\text{цегли}} = 44 \cdot \frac{120 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,523,$$

$$5) \lambda_{\text{цегли}} = 44,3 \cdot \frac{120 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,531.$$

Визначено термічний опір зразка Вт/м °С

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2.2)$$

$$1) R_k = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,50} = 0,240,$$

$$2) R_k = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,520} = 0,231,$$

$$3) R_k = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,521} = 0,230,$$

$$4) R_k = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,523} = 0,229,$$

$$5) R_k = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,531} = 0,226.$$

За результатами досліджень будемо графік залежності коефіцієнт теплопровідності цегли  $\lambda_{\text{цегли}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot ^\circ\text{C}$ , яка являє собою функцію від температури.  $\lambda = 0,41 \cdot (1 + 0,044 \cdot t_{\text{сер}})$  (див. рис. 2.5)

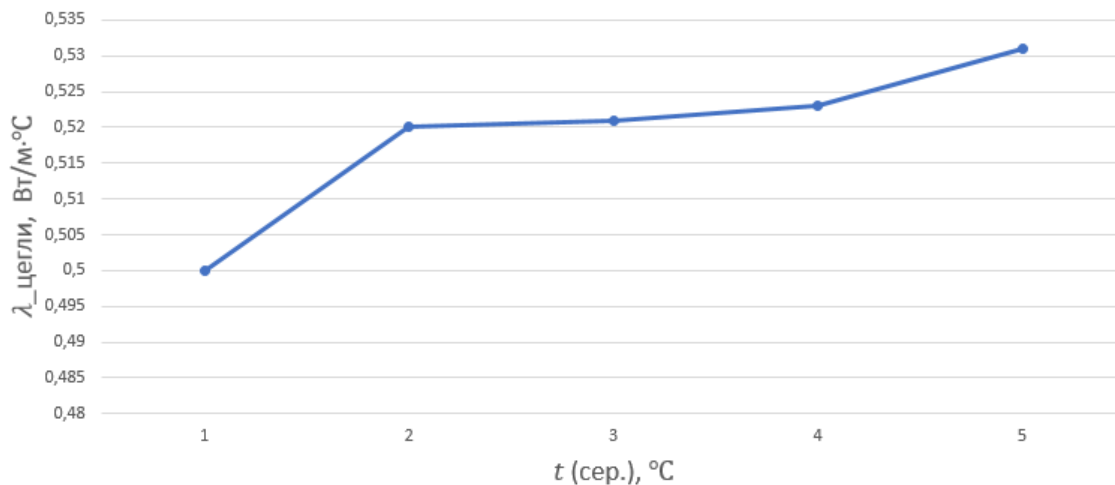


Рисунок 2.5 – Залежність коефіцієнта теплопровідності керамічної цегли від температури

Виконуємо розрахунок для облицювальної цегли аналогічно попередньому розрахунку, заносимо результати до таблиці 2.5

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку коефіцієнта теплопровідності пустотілої облицювальної цегли

Температура верхнього тепломіра $t_r, ^\circ\text{C}$	Температура нижнього тепломіра $t_x, ^\circ\text{C}$	Середня температура $t_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$	Температурний градієнт $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{\text{цегли}}, \text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$
30,1	19,7	5,2	11,6	0,55
31,6	19,9	5,85		0,61
31,8	20,0	5,9		0,61
32,3	20,2	6,05		0,63
32,3	20,3	6,07		0,64

Будуємо графік залежності коефіцієнт теплопровідності цегли  $\lambda_{\text{цегли}}$ , Вт/м·°С яка являє собою функцію  $\lambda = 0,44 \cdot (1 + 0,050 \cdot t_{\text{сер}})$  від температури. (див. рис. 2.6)

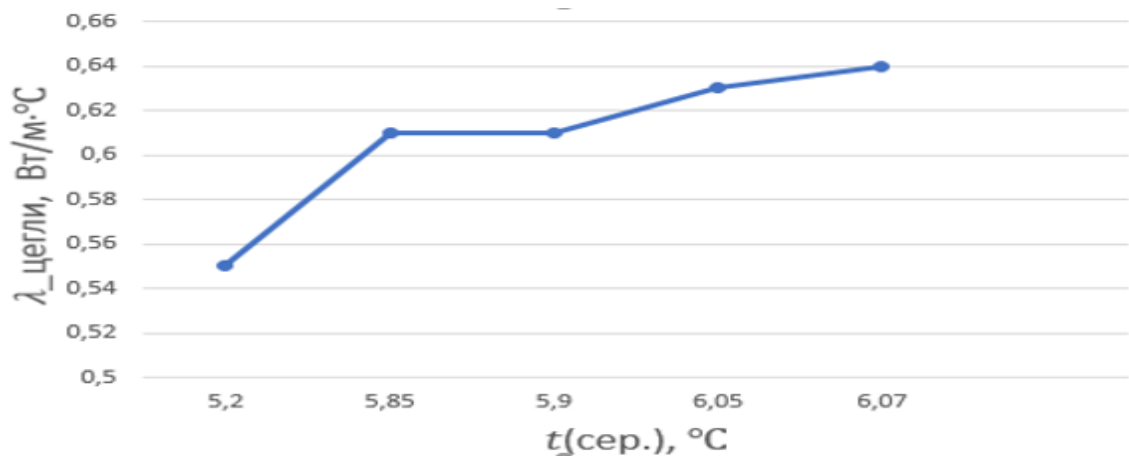


Рисунок 2.6 – Залежність коефіцієнта теплопровідності облицювальної цегли від температури

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Лабораторія № 1 кафедри теплоенергетики і гідроенергетики ІІ ЗНУ призначена для занять і досліджень. Це спеціально обладнане приміщення, яке забезпечує наукову організацію праці студентів і викладачів, загальна площа 50 м<sup>2</sup>, висота стелі 3м. В лабораторії проводяться роботи, які належать до категорії легких робіт Іа, Іб. Оптимальні, допустимі та фактичні параметри мікроклімату робочого місця працівника представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Оцінка факторів мікроклімату на робочому місці дослідника

Параметри	Температура °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Допустимі норми Холодний період Теплий період	(17...23) (18...27)	≤ 75 ≤ 60 (при 27 °С) ≤ 65 (при 26 °С)	≤ 0,3  (0,2...0,4)
Оптимальні норми Холодний період Теплий період	(18...20) (21...23)	(40...60) (40...60)	≤ 0,3 ≤ 0,2
Дійсні значення Холодний період Теплий період	20 (22...32)	(50...60) (45...55)	0,1 0,2

Температура повітря у приміщенні встановлює 20 °С, що є оптимальною для проведення досліджень і занять. Вологість повітря у приміщенні нормативна. В лабораторії є персональний комп'ютер, який являється джерелом тепловиділення. Робоче місто, для роботи з комп'ютером, розташоване таким чином, що б до поля зору не потрапляли освітлювальні прилади, поверхні, які мають властивість віддзеркалювання. Поверхня робочого столу не полірована. Екран відео монітору комп'ютера знаходиться від очей на відстані 600 мм, кут зору в межах (10...40) °С. Клавіатура розміщується на поверхні столу. Висота робочої поверхні стола 780 мм, розмір поверхні столу 1600 x 1000 мм. Стілець працівника – висота сидіння 410 мм, глибина сидіння складає 380 мм, а ширина – 400 мм. Висота опорної поверхні спинки 300 мм, ширина – 380 мм. Як джерело штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи, вертикальна освітленість у площині екрану 300 лк. Для зменшення напруженості зору необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості робочої поверхні відео монітора та навколишнього простору.

У приміщенні проводять щоденне вологе прибирання та видалення пилу з екрану проводять 1 раз на день.

В лабораторії відсутнє природне освітлення, це можна вважати шкідливим фактором, бо природне освітлення більш сприятливе при виконанні будь - яких робіт, що потребують зорової напруги та уваги. В лабораторії в будь який час доби застосовується штучне освітлення. Використовується загальна система освітлення із застосуванням люмінесцентних ламп ДБ 40 – 4. Потужність лампи – 40 Вт, світовий потік 3000 Лм [38]. Застосування люмінесцентних ламп забезпечують економічність, спектральний склад світла, близький до сонячного з передачею кольорів. Лампи використовуються у світильниках ПВЛ 12 x 40 (захищений від пилу і вологи). Аварійне освітлення в аудиторії не передбачається.

Для живлення силового устаткування, ручного електроінструменту і освітлювальної мережі застосовується напруга 380/220 В, що є небезпечною для життя.

Для проведення дослідження було використано електричний переносний вимірювач коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційних матеріалів та комп'ютер, для занесення показників до таблиць та побудови діаграм змінних показників.

Робота дослідника відноситься до категорії ІІа – фізичні роботи середньої важкості, які охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює (176...232) Вт, (151...200) ккал/год. Це роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів в положенні стоячи або сидячи і потребують певного фізичного напруження.

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

### 3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Запропановано наступні заходи:

1. Використання робочого столу з підставкою для ніг, розташовану під кутом до поверхні столу. Довжина підставки – 400 мм, ширина – 350 мм. Відстань клавіатури від краю столу не більш 300 мм, що забезпечить зручну опору для передпліч. Відстань між очима й екраном монітору 70 см.

2. Використання стільця, оснащеного підйомно-поворотним механізмом з регулюванням висоти сидіння в межах (400...500) мм. Глибина сидіння повинна складати не менш 380 мм, а ширина – не менш 400 мм. Висота опорної поверхні спинки не менш 300 мм, ширина – не менш 380 мм.

Кут нахилу спинки стільця до площини сидіння повинен змінюватися в межах (90...110) град.

3. Використання захисного екрану для захисту від електромагнітних випромінювань і електростатичних полів, які створює відео монітор.

4. Скорочення часу роботи за комп'ютером, робити перерви сумарний час яких повинен складати 50 хвилин при 8-ми годинній зміні.

Для створення автоматичної підтримки в лабораторії незалежно від зовнішніх умов оптимальних значень температури, вологості, чистоти і швидкості руху повітря установити кондиціонер з параметрами, наприклад Panasonic CU- W7NKD.

### 3.3 Виробнича санітарія

Роботи, які виконуються в лабораторії за енерговитратами можна віднести до різних категорій 1а, 1б (легкі), 2а (середньої важкості). Для визначення норм мікроклімату у приміщенні, приймаємо роботи категорії 2а [32].

Приміщення забезпечуються опаленням і припливно-витяжною вентиляцією з таким розрахунком, щоб у приміщеннях підтримувалась температура у межах (20...23) °С; вологість – (40...60) %. Для вентиляції приміщення застосовується механічна припливна загально змінна вентиляція. Кратність вентиляції 3 год<sup>-1</sup>, тобто протягом години повітря в приміщенні обмінюється 3 рази.

Витяжна вентиляція – природна, здійснює роботу за допомогою витяжних шахт та дефлекторів. Два отвори шахт розташовані на стінах приміщення і закриті ґратами. Вертикальні шахти прокладені у стінах і мають вихід на даху будівлі, де до них приєднані дефлектори. Конструкція дефлектора забезпечує розрідження на його виході за наявності вітра, тим більше розрядження, і тим ефективніше працює витягання.



Згідно приміщення лабораторії відноситься до 4 розряду зорових робіт роботи середньої точності з розміром об'єкту спостереження (0,5...1) мм.

### 3.4 Електробезпека

Згідно приміщення лабораторії можна віднести до 1 класу – без підвищеної небезпеки ураження струмом (сухе – відносна вологість повітря не перевищує 60 %, безпилоче, без струмопровідної підлоги і без хімічно активного середовища).

На робочому місці дослідника з всього устаткування металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, але тут використовуються системний блок, що відповідає стандартів виробника, де крім робочої ізоляції, передбачений елемент для заземлення і провід з жилою, для приєднання до джерела живлення.

Основні причини ураження людини електричним струмом на робочому місці:

- дотик до металевих неструмоведучих частин (корпусу, периферії комп'ютера), що можуть виявитися під напругою в результаті ушкодження ізоляції;
- не регламентоване використання електричних приладів;
- відсутність інструктажу співробітників з правил електробезпеки.

Для живлення виробничого устаткування використовується трифазна чотири провідна мережа змінного струму з глухо заземленою нейтраллю напругою 380/220 В [40].

Основні заходи запобігання ураження електричним струмом в лабораторії:

- захист від дотику до частин електрообладнання, які знаходяться під напругою та ізолюються ізоляційним матеріалом;
- встановлюють огорожу для недоступу до струмоведучих частин;
- застосування малих напруг;

- захисне заземлення, відключення;
- організаційні заходи.

Електрична ізоляція струмоведучих частин - гумова, поліхлорвінілова, бавовняна, нормативний опір ізоляції на ділянці ( між двома послідовно встановленими апаратами захисту або після останнього апарату).

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж і вивчення безпечним методам праці, перевірка знань безпеки та інструкцій, відповідно до виконуваної роботи.

Ізолюючи електрозахистні засоби, що застосовуються при обслуговуванні електроустановок поділяються на основні та додаткові. Основні мають достатній опір, щоб витримати робочу напругу устаткування. Додаткові засоби, вони підсилюють захисну дію основних засобів. У лабораторії можуть застосовуватися електрозахисні засоби для напруги до 1000 В (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Ізолюючі захисні засоби [38]

Основні засоби	Додаткові засоби
діелектричні рукавички; ізолюючі штанги; ізолюючі струмовимірюючі кліщі; показники напруги; слюсарно- монтажний інструмент з ізольованими рукоятками.	Діелектричні калоші; діелектричні килимки; ізолюючі підставки.

Електробезпеку у приміщенні лабораторії запропоновано забезпечити наступними технічними способами і засобами захисту:

- для зменшення накопичення статичної електрики застосовувати зволожувачі і нейтралізатори;
- організаційними заходами:
- своєчасне проведення інструктажів з техніки безпеки;

- заборона використання непередбачених у лабораторії електричних приладів, таких як електричні чайники, обігрівачі.

### 3.5 Пожежна безпека

Будівлю в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є горючі (книги, документи, меблі) і важко спалимі речі (різне лабораторне устаткування), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху.

У лабораторії є речовини небезпечні у пожежному відношенні:

- електрична ізоляція – гумова, поліхлорвінілова, бавовняна;
- сировина з якої вироблені окремі предмети меблі, температура займання(270...300) °С,самозаймання (330...470) °С;
- папір, температура займання 230 °С, самозаймання 360 °С;
- пластмаси – конструктивний матеріал корпусів деякого обладнання, захистних щитків, температура займання близько 400 °С, самозаймання (500...580) °С [30].

Для гасіння пожежі в лабораторії використовується вуглекислотний вогнегасник типу ОУ – 5 та ручний пожежний інструмент – лопата, лом, відра, інструмент розміщується на видному і доступному місці – на стенді. У коридорі розташований потужний кран, металевий ящик з піском.

Для швидкого виявлення і повідомлення про місце виникнення пожежі в лабораторії є автоматична пожежна сигналізація АДС ( автоматичний димовий сповіщувач) і автоматична система пожежогасіння.

Необхідними заходами для запобігання пожежі є своєчасний ремонт електроприладів, якісне виправлення помилок, не використання несправних електроприладів та протипожежний інструктаж.

Блискозахист будинку, де розташована лабораторія відноситься до III категорії, зона захисту Б. Для захисту від удару блискавки металеві конструкції даху заземлені.

### 3.6 Розрахунок штучного освітлення приміщення

Проведено розрахунок системи рівномірного освітлення люмінесцентними лампами, що забезпечить оптимальний рівень освітленості приміщення.

Розрахунок штучного освітлення проведено для приміщення площею 50 м<sup>2</sup>, ширина – 5 м, довжина – 10 м, висота – 3 м.

Для розрахунку потрібної кількості світильників, визначено світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою

$$\Phi_{л} = \frac{E S K_3 Z}{N n \eta}, \quad (3.1)$$

де  $E$  – нормована освітленість, 300 лк;

$S$  – площа приміщення, 50 м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп, приймається рівним (1,1...1,2),  $Z = 1,1$ ;

$N$  – кількість світильників, шт.;

$n$  – кількість ламп у світильнику, шт.;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт  $\eta$  визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення і коефіцієнтів відбиття стін та стелі, виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в долях одиниці, залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін  $\rho = 40\%$  і стелі  $\rho = 60\%$ . Показник приміщення  $I$  розраховується за формулою

$$I = \frac{ab}{h(a+b)}, \quad (3.2)$$

де  $a$  – довжина,  $a = 10$  м і  $b$  – ширина приміщення,  $b = 5$  м,  
 $h$  – висота світильника над робочою поверхнею,  $h = 2,9$  м.

$$I = \frac{5 \cdot 10}{2,9 \cdot (5+10)} = 1,15. \quad (3.3)$$

Знаючи індекс приміщення за  $\eta = 0,51$  підставимо всі значення у формулу визначення світлового потоку  $\Phi_{\text{л}}$

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 50 \cdot 1,1}{2 \cdot 3200 \cdot 0,51} = 7,6. \quad (3.4)$$

При величині приміщення  $I = 1,25$  ( $I = 1,15$ - не має) для світильників коефіцієнт використання приймається, як при  $I = 1,25$ .

Запропановано 8 світильників, які для забезпечення рівномірності освітлення розташовані в два ряди по 4 штук у кожному. Оскільки довжина світильника мало що більша за довжину люмінесцентної лампи, встановленої в ньому, то загальна довжина усіх світильників у ряді становитиме, м

$$\sum_{L_{\text{СВ}}} = 1,2 \cdot 4 = 4,8. \quad (3.5)$$

Це значення менше довжини приміщення, тому між світильниками будуть розриви 1,0 м. Визначено сумарну електричну потужність усіх світильників, встановлених в приміщенні, Вт

$$\sum_{P_{\text{СВ}}} = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n = 40 \cdot 8 \cdot 2 = 640. \quad (3.6)$$

Значення коефіцієнта запасу  $K_3$  залежно від характеристики приміщення (див. табл. 3.3)

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнту  $K_3$  від характеристики приміщення

Характеристика приміщення	Приклади приміщень	Значення $K_3$ при освітленні лампами	
		газорозрядними	розжарювання
Виробничі приміщення з особливим режимом за чистотою повітря при обслуговуванні світильників: а) з технічного поверху б) знизу приміщення	–	1,3	1,15
	–	1,4	1,2
Приміщення громадських і житлових будівель	Кабінети і робочі приміщення громадських будівель, житлові кімнати, навчальні приміщення, читальні зали, зали нарад, торговельні зали.	1,5	1,3

Це значення менше довжини приміщення, тому між світильниками будуть розриви 1,0 м. Визначено сумарну електричну потужність усіх світильників, встановлених в приміщенні, Вт

$$\sum_{P_{св}} = P_{л} \cdot N \cdot n = 40 \cdot 8 \cdot 2 = 640. \quad (3.6)$$

### 3.7 Екологія будівельних матеріалів

Екологічність людського житла сьогодні, напочатку ХХІ століття, стала актуальна, як ніколи раніше. З розвитком нових технологій, появою нового вигляду транспорту, нарощуванням темпів виробництва людство все далі йде від тих початкових умов, в яких колись зародилася цивілізація.

Вимоги до санітарного стану житла зросли не тільки у зв'язку з посиленням забруднення зовнішнього середовища, але і у зв'язку із значним розширенням асортименту будівельних матеріалів. За останні десятиріччя кількість будівельних і обробних матеріалів суттєво збільшилася. Кількість будівельних компаній вимірюється сотнями, кількість компаній тих, що поставляють матеріали – тисячами. При цьому постачальників упершу чергу цікавить прибуток, а будівельників – економія. Тому важ асортимент будівельних матеріалів, вживаних в сучасному будівництві, можна розділити на:

- відносно безпечні;
- такі, які потребують суворого контролю.

До відносних безпечних матеріалів можна віднести найбільш традиційні, вироблювані на природній основі: цегла, камінь, бетон, обробні матеріали на основі гіпсу, дерево, скло.

Небезпечнішими будівельними матеріалами з погляду екології є матеріали з високою кількістю полімерів в складі: різного роду пластики, лінолеум, покрівельні матеріали, лаки, фарби і матеріали на основі фенолів і формальдегідів. Лінолеум або ламінат при нагріванні навіть сонячним світлом виділяють цілу гамму органічних і токсичних речовин. Неякісні фарби і лаки можуть з часом викликати алергію або астму.

Найнесприятливішими компонентами для екології житлових приміщень можна назвати формальдегід і фенол. Ці високотоксичні, летючі гази зумовлюють головні болі, алергії, роздратування слизових оболонок. Фенол і формальдегід є майже у всіх полімерних матеріалах, в деревностружкових

плитах, використовуваних при виробництві меблів, в декоративних деталях, деяких тканинах, килимових покриттях і клеях. Виділення цих компонентів відбувається протягом тривалого терміну – від одного місяця до декількох років. Залежить воно від характеру матеріалу, температури, вологості, вентиляції. Активність викидання летючих токсинів з часом або скорочується, або, навпаки, зростає. Нові вироби з ДСП можуть спочатку виділяти запах, який, незабаром зникне.

Чим старше стають фарбовані стіни, тим більше вірогідність попадання фенолу і формальдегіду в повітря, оскільки достатньо швидко відбувається розтріскування захисного шару.

Екологічно небезпечним матеріалом є азбест, який, на щастя, все рідше застосовується в будівництві. Проте, його джерелом можуть бути пошкоджені або використані неналежним чином обробні, ізоляційні, протипожежні матеріали. Отруєння азбестом не дає негайних симптомів. Довготривале перебування в зараженій азбестом квартирі приводить до різних онкологічних і легеневих захворювань.

Бетон, в порівнянні з іншими будівельними матеріалами, є достатньо чистим і екологічним будівельним матеріалом, крім випадків, коли в нього додають присадки у вигляді формиату або нітриту натрію, що впливають на швидкість твердіння сумішей. Нітрит натрію є сіллю азотистої кислоти, всі солі якої отруйні. Попадання їх в організм людини, наприклад, при проведенні будівельних робіт, викликає важкі ураження (розширення кровоносних судин, освіта в крові метгемоглобіна), небезпечні для життя.

Для додання бетону більшої пластичності нерідко застосовується пластифікатор С-3, де міститься (6-10) % сульфату натрію  $\text{NaSO}_4$ . Такі склади мають чималу екологічну небезпеку, хоч і не взаємодіють з людським житлом безпосередньо.

Застосовані в будівництві матеріали впливають на екологію житла не кожен окремо, а по сукупності.



### 3.8 Методи вирішення екологічних проблем у виробництві

Зрозуміла справа, що при такій різноманітності чинників, що негативно впливають на екологію людського житла, будівельники повинні знати заходи профілактики і протидії, а контролюючі органи мати довершений і налагоджений механізм перевірок, покликаний не допустити явних порушень. Один з шляхів вирішення проблеми екології будівельних матеріалів є застосування нових матеріалів високої якості.

Всі матеріали, які випускаються нашої країні і зарубіжною промисловістю, повинні мати гігієнічні висновки санітарно епідеміологічної експертизи. І такі висновки дійсно є. Інакше на територію країни їх не пропустить митниця.

Сертифікацією на території України займаються ЦСМи (центри стандартизації і метрології) в областях. Продукція як західного, так останнім часом і українського виробництва, зазвичай нарікань не викликає. Наприклад, Дніпродзержинський і Славутській заводи випускають руберойд не гірше західних. У нас три мінераловатних заводу, що проводять продукцію високої якості (зокрема «Техно» в Черкасах, «Данко» в Докучаєвське). Крім того, в Україні дуже хороша сировинна база для виробництва мінеральної вати, наприклад, Берестовецький кар'єр в Рівненській області. Дещо складніше з продукцією Китаю. Її якість, м'яко кажучи, вельми середня. Але якісний матеріал природно дорожче і тому у нас на будівництві часто застосовують далеко не кращі марки. Це створює ситуацію, коли завозити і застосовувати високоякісний товар виявляється не вигідним, тому що він має відносно низький попит в порівнянні з товаром дешевшим.

У списку товарів і виробів, що підлягають в Україні обов'язкової сертифікації, не так вже багато найменувань. У їх числі цемент, керамічна і силікатна цегла, керамічна плитка, вікна і двері для житлових споруд, але в більшості випадків сертифікація того або іншого продукту справа добровільна. Часто будівельні або торгуючі організації йдуть на це неохоче, оскільки це

витратна стаття бюджету. Проте бувають ситуації, коли такі витрати з комерційної точки зору виправдані. Наприклад, при проведенні тендерів, заявка в проекті сертифікованих матеріалів, дає відчутну перевагу.

Одним з дієвих заходів впливу на цей процес є вимагання сертифікату якості у продавця будівельних матеріалів покупцем.

## ВИСНОВКИ

В дипломній магістерській роботі виконано аналіз коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів.

У першій частині дипломної роботи розглянуто питання процесу теплопровідності, проведено аналіз ринку будівельних матеріалів та проаналізовано літературні джерела за тематикою досліджень.

На підставі рекомендацій нормативних документів розроблено конструкцію і виготовлено установку для дослідження коефіцієнта теплопровідності керамічної та облицювальної цегли.

Поставлені задачі вирішувались шляхом проведення фізичного експеримента на основі розробленої лабораторної установки. В роботі використано стаціонарні методи дослідження теплопровідності.

Розроблено методику натурних експериментальних досліджень коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів. Проведено серію експериментів по визначенню коефіцієнта теплопровідності керамічної та облицювальної цегли.

Методичні аспекти дослідження теплопровідності будівельних матеріалів базуються на вимогах чинної нормативно-технічної документації та на досвіді попередніх досліджень, виконаних різними авторами. Такий підхід дає можливість отримати достовірні результати досліджень і можливість їх порівняння з результатами літературного огляду.

Отримані результати по дослідженню коефіцієнта теплопровідності керамічної цегли узгоджуються табличними. Досліджуваний коефіцієнт теплопровідності становить  $\lambda_{к.ц} = 0,52 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ , а  $\lambda_{табл.} = (0,37 \dots 0,93) \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ , що свідчить про те що отримані результати дослідження в межах нормативних значень.

Результати проведеного розрахунку коефіцієнта теплопровідності облицювальної цегли свідчать про те, що тепло в нагрівнику приладу

витрачається не лише на нагрівання зразка, але й елементів приладу та навколишнього середовища, не дивлячись на наявну теплоізоляцію.

$$\lambda_{\text{обл.ц}} = 0,61 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}, \text{ а } \lambda_{\text{табл.}} = 0,44 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}.$$

$$\text{Похибка вимірювань становить } \Delta = \frac{\lambda_{\text{обл.ц}} - \lambda_{\text{табл.}}}{\lambda_{\text{табл.}}}; \quad \Delta = \frac{0,61 - 0,44}{0,44} = 0,38.$$

В розділі охорона праці виконано розрахунок штучного освітлення та розглянуті питання екологічних проблем у виробництві будівельних матеріалів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

1. Житлове будівництво в Україні у 2000–2009 роках: Статистичний збірник. –К.: державний комітет статистики України, 2010. - 91с.
2. Інформація щодо загальних підсумків діяльності будівельної галузі за 2011 рік: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/>
3. Жучков Г.А. Оцінка і прогнозування економічної рівноваги підприємства будівельної галузі / Г.А. Жучков, В.А. Оченаш, О.В. Патенко. // Регіональні перспективи. – 2009. – № 5-6 (18-19). – С. 293-294.
4. Енергетичний баланс України за 2012 рік: державна служба статистики України – Офіц.вид. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
5. Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А.У. Франчук. – 2-е изд. – М., 1999. – 144 с.
6. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел/ Г. Карслоу, Д. Егер (пер. с англ. под ред. проф. Померанцева А.А.). – М.: Наука, 1994. – 488 с.
7. Баскаков А.П. Теплотехника : учебник для вузов / А.П. Баскаков. М. : Энергоиздат, 2002. – 264 с.
8. Малявина, Е.Г. Теплотери здания. Справочное пособие / Е.Г. Малявина.– М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 265 с.
9. Влияние технологических факторов на теплопроводность и влажностный режим кирпичных кладок наружных стен из пустотелого керамического кирпича и камня / А.И. Ананьев, В.П. Абарыков, С.А. Бегоулев, А.С. Буланый // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С.54 –58.
10. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель і енергозбереження. – Харків : САГА, 2006. – 220 с. 11. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина.– 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОКПРЕСС, 2006. – 256 с.

12. Маляренко В.А., Редько А.Ф., Чайка Ю.И., Поволочко В.Б. Техническая теплофизика ограждающих конструкций и сооружений / Под ред. проф. Маляренко В.А. – Харьков : Рубикон, 2007. – 232 с.

13. Експериментальний пошук шляхів визначення теплотехнічних властивостей одиночних керамічних виробів / В.В. Шульгін, Т.С. Кугаєвська, О.М. Гнатко, Є.М. Покрасенко // Науковий вісник будівництва № 64. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011.– С.325 – 330.

14. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіон України, 2017.

15. ДСТУ Б В.2.7-295. Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі. – К.: НДІБВ.

16. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.

17. Будівельні матеріали: підручник / П.В. Кривенко, В.Б. Барановський, М.П. Безсмертний та ін. / за ред. П.В. Кривенка. – К.: Вища школа, 1993 – 389 с.

18. І. Борейко, М. Ю. Притула // Збірник наукових праць. Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природноресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції. – 2011. – Випуск XVII, № 4.

19. С. 64–71. Офіційний сайт Державної служби статистики України - <http://www.ukrstat.gov.ua>

20 Загниборода І. А. Дослідження конкурентного середовища підприємства на ринку будівельних матеріалів// Наукові конференції; Питання сучасної науки і освіти.

21. Васильківський І.С., Рогоцький Я.Т., Юсик Я.П., Симотюк В.Ф. Прилад для вимірювання теплопровідності рідких та рідиноподібних матеріалів. - Зб. “Контрольно-вимірювальна техніка”, вип.50.- Львів: В-во “Світ”, 1999, с.67-72.

22. Пистун Е.П., Васильківський І.С., Рогоцький Я.Т., Юсык Я.П. Универсальный измеритель теплопроводности УИТ-1. - Приборы и техника эксперимента, №3, 1999, с.243-244.

23. А.С. 1599740 /СССР/. Способ измерения теплопроводности веществ. Пистун Е.П., Рогоцький Я.Т., Васильківський І.С., Юсык Я.П., Вента О.М. – Оpubл. в Б.И., 1990, №38.

24. А.С. 1631386 /СССР/. Способ определения температуропроводности керамики. Пистун Е.П., Васильківський І.С., Рогоцький Я.Т., Юсык Я.П. - Оpubл. в Б.И., 1991, № 8.

25. А.С. 1681216 /СССР/. Способ измерения теплопроводности материалов. Пистун Е.П., Рогоцький Я.Т., Васильківський І.С., Юсык Я.П. - Оpubл. в Б.И., 1991, № 36.

26. Васильківський І.С., Юсык Я.П. Новий метод вимірювання теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів. –Тези доповіді 2-ої Міжнародної науково- практичної конференції “Проблеми економії енергії”. /м.Львів, 2-4 червня 1999 р./- Львів, 1999р. – с.34-35.

27. Пистун Є.П., Васильківський І.С., Юсык Я.П. Новий метод вимірювання теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів. - Н.-т. журнал “Методи та прилади контролю якості”, вип.3, Івано-Франківськ: Вид-во “Простір-М”, 1999, с. 25-27.