

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 шляхів створення теплоізоляційних блоків на основі
гідросилікатів

Виконала: студентка 2 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)

Ю. О. Литвиненко

(ініціали та прізвище)

Керівник зав. каф. ТТЕ А.О. Чейлитко

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

Рецензент А. П. Сафонов

(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 20 19 року

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

Литвиненко Юлії Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

• Тема роботи (проекту) Аналіз шляхів створення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів

керівник роботи Чейлитко А. О.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «10» 09. 2019 року № 1537

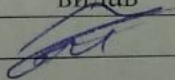
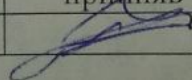
• Строк подання студентом роботи 26 грудня 2019 року

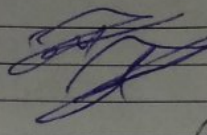
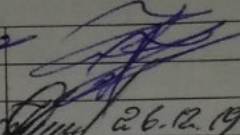
• Вихідні дані до роботи Оксид кремнію - не більше 46 %, оксид алюмінію - 12 %, оксид заліза - не більше 6%, оксид кальція - не більше 12 %.

• Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Загальні характеристики силікатних матеріалів. Процеси тепломасообміну у пористих структурах. Енергетичний баланс пороутворювання. Аналіз шляхів створення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів. Охорона праці.

• Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Залежність теплопровідності зразків № 1, № 2, № 3, № 4, № 5 від температури. Результати досліджень.

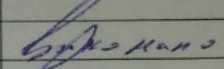
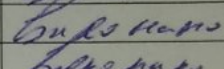
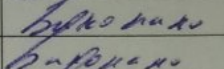
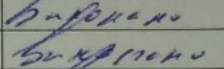
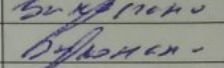
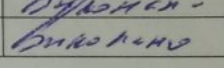
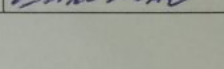
• Консультанти розділів роботи

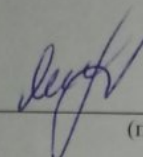
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Чейлитко А.О. зав.каф. ТЕ		

2	Чейлитко А.О. зав.каф. ТГЕ		
3	Куріс Ю.В. професор		
Нормоконтр	Каюков Ю. М. доц. каф. ТГЕ		26.12.19

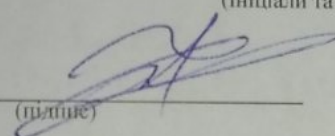
- Дата видачі завдання 10,09,2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	10 жовтня	
2	Характеристика об'єкту дослідження	20 жовтня	
3	Пориста теплоізоляція на основі гідросилікатів	15 листопада	
4	Аналіз шляхів створення теплоізоляційних блоків	25 листопада	
5	Охорона праці	1 грудня	
6	Оформлення графічного матеріалу	15 грудня	
7	Оформлення магістерської роботи	26 грудня	

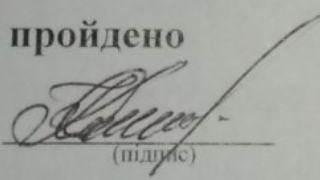
Студент  (підпис)

Ю. О. Литвиненко
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

А. О. Чейлитко
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис)

Ю.М. Каюков
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Литвиненко Ю.О. Аналіз шляхів створення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник докт. тех. наук, доцент А.О.Чейлитко. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2019.

Створення теплової ізоляції із пористих матеріалів на основі гідросилікатів є перспективним напрямом досліджень. В роботі проведено детальний аналіз енергетичного балансу пороутворення та досліджено можливість створення нових високопористих теплоізоляційних матеріалів на основі гідросилікатів.

Ключові слова: ГІДРОСИЛКАТИ, ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЯ, ПОРИ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС, СПУЧЕННЯ, ШВИДКІСТЬ ПОРОУТВОРЕННЯ.

ABSTRACT

Litvinenko Yu.O. Analysis of ways of creation of heat insulating blocks on the basis of hydrosilicates.

Qualifying final work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 144 - Heat power engineering, scientific supervisor of the Doctor of Sciences, associate professor A.O. Cheilytko. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Energy, Electronics and Information Technologies, Department of Thermal Power Engineering and Hydroenergy, 2019.

Creation of thermal insulation from porous materials based on hydrosilicates is a promising area of research. In this work a detailed analysis of the energy balance of pore formation was carried out and the possibility of creating new high-porous heat-insulating materials based on hydrosilicates was investigated.

Keywords: HYDROSILICON, THERMAL INSULATION, PORES, ENERGY BALANCE, SPUTUM, PORE FORMATION RATE.

АННОТАЦИЯ

Литвиненко Ю.А. Анализ путей создания теплоизоляционных блоков на основе гидросиликатов.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель докт. тех. наук, доцент А.А.Чейлытко. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2019.

Создание тепловой изоляции из пористых материалов на основе гидросиликатов является перспективным направлением исследований. В работе проведен детальный анализ энергетического баланса порообразования и исследована возможность создания новых высокопористых теплоизоляционных материалов на основе гидросиликатов.

Ключевые слова: ГИДРОСИЛИКАТЫ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ, ПОРЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС, ВСПУЧИВАНИЕ, СКОРОСТЬ ПОРООБРАЗОВАНИЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ПОРИСТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЯ НА ОСНОВІ ГІДРОСИЛКАТІВ	10
1.1 Загальні характеристики силікатних матеріалів	12
1.2 Гідросилікати кальцію, як основа для теплоізоляційних матеріалів	14
1.3 Процеси спучення гідросилікату	16
1.4 Процеси тепломасообміну у пористих структурах	19
1.5 Поверхнєве явище в капілярах пористих теплоізоляційних матеріалів	23
1.6 Взаємозв'язаний тепло- і масопереносу при фазових перетвореннях	25
1.7 Багатофазова фільтрація	27
1.8 Передача теплопровідністю в пористому середовищі	28
1.9 Конвективний тепло перенос у пористому тілі	34
1.10 Енергетичний баланс пороутворювання	38
2 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ СТВОРЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ БЛОКІВ НА ОСНОВІ ГІДРОСИЛКАТІВ	41
2.1 Дослідження процесу пороутворення гідросилікатів та глиноземів	42
2.2 Дослідження вмісту оксиду алюмінію на спучування глини	48
2.3 Дослідження впливу локальної вологості в матеріалі на його спучування	52
2.4 Визначення впливу пористості на теплопровідність матеріалу	54
2.5 Створення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів	64
2.6 Визначення швидкості та енергії активації поро – утворення	67
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	73
3.1 Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих факторів виробництва	73

3.2 Заходи з поліпшення умов праці	75
3.3 Виробнича санітарія	76
3.4 Електробезпека	81
3.5 Пожежна безпека	82
3.6 Засоби індивідуального захисту	83
3.7 Розрахунок освітлення	84
ВИСНОВКИ	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	88

ВСТУП

Актуальність роботи. Створення теплової ізоляції із пористих матеріалів на основі гідросилікатів є перспективним напрямом досліджень. В роботі проведено детальний аналіз енергетичного балансу пороутворення та досліджено можливість створення нових високопористих тепл

Об'єкт дослідження – є теплоізоляційні гідросилікатні блоки.

Предмет дослідження – є термодинамічні, теплові та технологічні процеси, що відбуваються при створенні гідросилікатних блоків.

Мета роботи – виконати дослідження шляхів створення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів та визначити раціональний спосіб виробництва гідросилікатів.

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

- аналіз літературних джерел за тематикою досліджень;
- лабораторне дослідження по створенню гідросилікатів;
- лабораторне дослідження по створенню бетонних блоків з добавкою гідросилікатів;
- виконати порівняння ефективності теплової ізоляції із пористих матеріалів на основі гідросилікатів.

Методи та засоби дослідження. В роботі застосовано сукупність систематизованих прийомів і засобів наукового пошуку в теплофізиці. Методика досліджень теплофізичних властивостей високопористих матеріалів базується на проведенні емпіричних лабораторних досліджень отриманих зразків. Проведено аналітичне дослідження енергетичного балансу пороутворення. Методи дослідження: аналітичний, статистичний, енергетичний, ексергетичний та техніко-економічний аналізи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Робота виконана відповідно до держбюджетної теми науково-технічної розробки 8-1Д/2017 «Формування теплофізичних властивостей елементів конструкції

теплового захисту енергетичного обладнання шляхом створення прогнозованих пористих структур для промисловості України» (номер державної реєстрації 0117U006455).

Наукова новизна отриманих результатів. Визначено кількість енергії що затрачується на формування структури гідросилікату, складено рівняння енергетичного балансу процесу пороутворення. Знайдено коефіцієнт теплопровідності та питома теплоємність отриманого матеріалу.

Практична цінність роботи полягає в наступному – запропоновано новий високопористий теплоізоляційний матеріал на основі гідросилікатів. З запропонованого гідросилікату було створено теплоізоляційні бетонні блоки, теплоізоляційні властивості яких було досліджено, що підтверджує практичну цінність проведених досліджень.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні дослідження виконанні безпосередньо автором спільно із керівником роботи. Автору належить обґрунтування основних припущень, аналіз отриманих результатів та формулювання висновків за результатами проведених досліджень.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з 54 позицій. Загальний обсяг складає 92 сторінки у тому числі 11 таблиць.

1 ПОРИСТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЯ НА ОСНОВІ ГІДРОСИЛКАТІВ

Сучасне виробництво пропонує великий вибір для будівництва. Ринки рясніють величезною кількістю продукції як зарубіжних, так і вітчизняних виробників.

За своїми властивостями будівельні матеріали значно різняться. Щоб зробити правильний вибір в цій області, потрібно мати уявлення не тільки про те, які саме матеріали використовуються, скажімо, при будівництві лазні, а й про те, що входить до складу обраних матеріалів, а також про властивості, якими вони володіють. Застосовуючи будь-який з існуючих матеріалів в приватному будівництві необхідно враховувати всі фізичні і механічні властивості. Це дозволить вибрати максимально придатний будівельний матеріал, якість якого буде відповідати необхідним вимогам. Основні властивості матеріалів будівельного типу можна класифікувати на кілька основних типів.

Першим типом властивостей є фізичні властивості, до яких можна віднести: повний об'ємна вага, фактичну питому вагу, щільність і його можлива пористість. Саме від цих властивостей залежить співвідношення того чи іншого будівельного матеріалу і його приналежність до окремих типів будівництва.

До другого типу властивостей відносяться ті властивості, які визначають вплив вологи на сам матеріал і можливі наслідки при замерзанні даної вологи. До таких властивостей відносяться: поглинання вологи, початкова вологість, а також віддача цієї вологості в навколишнє середовище, стійкість до поглинання вологи і опір промерзання.

Третім типом властивостей вважаються механічні властивості, такі, як знос, міцність і щільність. До четвертого типу властивостей можна віднести всі ті властивості будівельного матеріалу, які пов'язані з тепловою дією.

Питома вага - це загальна вага окремого будівельного матеріалу, який позначається в об'ємній одиниці. При цьому стан самого матеріалу має бути максимально щільним, виключаючи будь-які пори. Відповідно об'ємна вага - це

загальна вага матеріалу в даному його стані, враховуючи будь-який рівень зернистості і пір.

Об'ємна вага має ще один досить поширений тип - насипна вага. Таким вагою вважається загальна вага наповнювачів (піску або щебеню), при якому не враховується вага пустот, які утворюються між великими частками сипучого будівельного матеріалу.

До теплофізичних властивостей відносять теплопровідність, теплоємність та щільність.

Щільність - це загальна ступінь заповнюваності обсягу окремого матеріалу тими твердими частинками, з яких сам матеріал складається. Пористість - це співвідношення загального обсягу пористих частин матеріалу з його загальним об'ємом.

Завдяки різній величині пір повітряного його можна розділити на великопористі і дрібнопористі. Такі пори обчислюються в сотих і десятих міліметра. Якщо в будівельних матеріалах є пори більшого розміру, здебільшого це відноситься сипучим варіантів, то такі пори прийнято називати порожнечами.

Як правило, пористість позначають в процентному співвідношенні. Наприклад, метал має нуль відсотків пористості, тоді як плита з мінеральної вати має 90 % пористості. Як правило, будівельні матеріали з максимальною пористістю грають роль хорошого теплоізоляційного матеріалу, який використовується як в зовнішньому, так і у внутрішньому будівництві.

Вогнетривкість - це здатність будівельного матеріалу максимально довгий час чинити опір впливу підвищеної температури, яка має безпосередній вплив на сам будівельний матеріал. Такі властивості досить корисні при будівництві конструкцій, які довгий час знаходяться в умовах підвищеної температури. До таких конструкцій можна віднести печі, теплові труби або каміни. Для всіх цих будівельних конструкцій потрібно будівельний матеріал з підвищеною вогнетривкістю.

1.1 Загальні характеристики силікатних матеріалів

Технологія автоклавних силікатних матеріалів – це галузь, що відрізняється гнучкістю технології, високою економічною ефективністю, екологічною чистотою виробництва і є перспективною у плані розширення асортименту та підвищення якості продукції [1,2]. Основними напрямками технічного прогресу у виробництві силікатної цегли є: покращення якості і розширення асортименту цегли, збільшення продуктивності основного технологічного обладнання (силосів-реакторів, змішувачів, пресів, автоклавів), широке використання промислових відходів, удосконалювання механізації завантажувально-розвантажувальних робіт на складах підприємств. Сучасна технологія силікатної цегли, базується на отриманні силікатного в'язучого шляхом спільного помелу кремнеземистого компоненту – кварцового піску з негашеним вапном з подальшим змішуванням отриманого силікатного в'язучого з немеленим піском, перемішуванням і загашуванням отриманої суміші водою, формуванням силікатної цегли шляхом пресування та запарюванням відформованих виробів у автоклаві. Основними новоутвореннями силікатного в'язучого на основі кварцового піску та вапна є гідросилікати кальцію різної основності, зокрема типу тобермориту, для яких характерним є значна розчинність у воді – 0,050 г/л та вище. В результаті цього отримана силікатна цегла відрізняється порівняно невисокою водостійкістю (коефіцієнт розм'якшення 0,6...0,7). Понижена водостійкість силікатної цегли обмежує можливості її використання у будівництві — переважно для стін над цокольної частини будівель. Таким чином, пошук шляхів підвищення водостійкості силікатної цегли є актуальною задачею.

З літературних джерел відомі численні способи підвищення водостійкості силікатної цегли: використання добавок-гідрофобізаторів, просочування бітумом, карбонізація, покриття кремнійорганічними водовідштовхуючими сполуками, створення водостійких гідросилікатних

сполук з малорозчинних силікатів кальцію, введення добавки доменного шлаку. Недоліком таких технологій є їх складність та необхідність використовувати дорогі матеріали. Для збільшення водостійкості автоклавного силікатного в'язучого необхідно суттєво зменшити розчинність його гідратних новоутворень, зокрема шляхом використання замість кварцового піску іншого недорогого компоненту силікатного в'язучого. Таким компонентом може стати базальт, що є матеріалом поширеним і доступним в деяких регіонах, зокрема в Рівненській області, наприклад у вигляді відсів та пилу від подрібнення на щебневих заводах.

Дослідження [3] показали, що після запарювання у автоклаві в'язучого із суміші мелених базальту та вапна в наслідок наявності у складі базальту значних кількостей оксидів заліза (понад 12 %), алюмінію (понад 13 %) та магнію (понад 6 %) при твердінні силікатного в'язучого утворюються поряд з тоберморитоподібними гідросилікатами кальцію, також і водостійкі гідроферити кальцію, гідроалюмосилікати типу гідрогранатів та гідросилікати магнію, розчинність яких не перевищує 0,020 г/л води. Більш водостійкі новоутворення екранують тоберморитоподібні гідросилікати, захищаючи їх таким чином від дії води. В результаті водостійкість силікатного в'язучого значно зростає. Перевагою базальтового відсіву в якості компоненту силікатного в'язучого є також його дисперсність (близько 20% його маси представлено пилоподібною фракцією) та краща розмелюваність, що сприяє економії електроенергії при помелі.

Міцність зразків силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому зростає при збільшенні вмісту базальту у складі в'язучого та загального вмісту в'язучого у складі силікатної цегли. При збільшенні вмісту базальту у складі в'язучого зменшується відносний вміст вапна і, відповідно, основність гідратних новоутворень у затверділому в'язучому, що згідно з сприяє значному зменшенню розчинності. Зменшення основності новоутворень – гідросилікатів кальцію з величин 1,5...2, до 0,8...1,0 майже в десять разів зменшує їх водорозчинність. Так, в роботі для збільшення водостійкості

силікатної цегли запропоновано використання добавки пилу від виробництва ферросиліцію, що складається, переважно з тонкодисперсного аморфного кремнезему. При цьому зменшується основність гідратних новоутворень у затверділому в'язучому і збільшується його водостійкість. Але для досягнення такого ефекту необхідне використання дефіцитного компонента – пилу від виробництва ферросиліцію. Зростання загального вмісту в'язучого у складі силікатної цегли сприяє зменшенню капілярної пористості та ущільненню каменю силікатної цегли. При цьому, відповідно, і зменшується проникність каменю силікатної цегли, що зменшує негативний вплив води на гідратні новоутворення автоклавного в'язучого і сприяє, таким чином, збільшенню його водостійкості. Згідно з експериментальними даними міцність цегли в межах експерименту коливається в межах 11...24 МПа, що дозволяє отримувати широкий діапазон марок силікатної цегли М75...М200.

В цілому, така ж залежність від технологічних факторів спостерігається і для водостійкості силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому. Для величини коефіцієнту розм'якшення характерним є максимум при вмісті в'язучого у складі силікатної цегли на рівні близько 1,0, при подальшому зростанні цього співвідношення величина коефіцієнту розм'якшення незначно спадає. Таким чином, максимальна величина коефіцієнту розм'якшення силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому досягається при вмісту базальту у складі в'язучого близько 1,5 і вмісті в'язучого у складі силікатної цегли на рівні 10% і становить 0,88, тобто такий матеріал є цілком водостійкий. При збільшенні вмісту в'язучого у складі силікатної цегли до 13% її міцність зростає, а коефіцієнт розм'якшення знижується до величини 0,84, тобто залишається достатньо високим, і така цегла є цілком водостійкою.

1.2 Гідросилікати кальцію, як основа для теплоізоляційних матеріалів

Утворювальні гідросилікати кальцію мають різну основність. За даними, низькоосновні гідросилікати мають більшу міцність. З огляду на це, з метою

отримання нізкоосновних гідросилікатів кальцію нами при синтезі добавки додатково були введені матеріали, що містять кремнезем.

В роботі використовувалися два режими синтеза: 1-й режим - осадження в присутності 15% - ного розчину хлористого кальцію в кількості 50% від маси рідкого скла; 2-й ржим - осадження в присутності 10% - ного розчину хлористого кальцію в кількості 50% від маси рідкого скла з додаванням суспензії діятимуть, при цьому співвідношення рідина: тверда фаза (Ж:Т) становило (Ж:Т) = 1:2. Отриману суміш перемішування фільтрували. Осад висушували при температурі 100 °С. Було оцінено вплив режимів синтезу на структуроутворення вапняних систем. В роботі застосовувалася вапно другого сорту з активністю 86 %. При цьому зміст добавки становило 30% від маси вапна. На рентгенограмі вапняно-діатомітових образців представлені дифракційні лінії наступних з'єднань: кварц ($d = 10,059$; $d = 3,353$; $d = 3,042$; $d = 2,456$); гідросилікати кальцію ($d = 1,797$; $d = 1,685$; $d = 1,542$). На рентгенограмах зразків з ГСК, синтезованих по другому режиму, ідентифікуються наступні з'єднання: гідросилікати кальцію CSH (I) і CSH (II) ($D = 4,913$; $d = 3,876$; $d = 3,345$; $d = 3,10$; $d = 3,036$; $d = 2,633$; $d = 2,640$; $d = 2,501$; $d = 2,420$; $d = 2,286$; $d = 2,101$; $d = 1,913$; $d = 1,879$; $d = 1,794$); портландіт: ($d = 1,799$; $d = 1,687$); кальцит ($d = 1,998$; $d = 1,483$) [4].

Аналіз рентгенограми, свідчить, що мінералогічний склад зразків з ГСК, синтезованих по другому режиму, характеризується великою кількістю і збільшенням інтенсивності піків низькоосновних гідросилікатів кальцію. Крім того, на рентгенограмі зразків з ГСК, синтезованих по другому режиму, зменшується інтенсивність піків, що відносяться до портландіта. Було визначено кількість вільного вапна СаО в процесі твердіння вапняних зразків, що характеризують вимірню вільної вапна в процесі твердіння известкових зразків. В якості контрольного прийнятий склад без добавок.

Встановлено, що склади на основі ГСК, синтезованих по другому режиму, характеризується меншою кількістю вільної вапни. У контрольних зразках у віці 28 діб повітряно-сухого твердіння кількість хімічно вільної вапна

становить 47,66%, а із застосуванням синтезованих добавок 25,23-36,73%. Активність добавок оцінювалася також за показником міцності при стисненні вапняних зразків в залежності від режиму їх синтезу. У віці 28 діб твердіння визначалася міцність при стисненні. Виявлено, що у віці 28 діб повітряно-сухого твердіння міцність при стисненні $R_{сж}$ вапняних образців на основі ГСК, синтезованих по другому режиму, вище і становить $R_{сж} = 7,59$ МПа, в той час як у відомогокових зразків на основі ГСК, синтезованих за першому режиму, - $R_{сж} = 4,7$ МПа. Міцність при стисканні контрольного зразка становить $R_{сж} = 2,12$ МПа [5].

1.3 Процеси спучення гідросилікату

Принципову схему утворення пір в сферичній частинці вологій сировинній суміші глиноземистого матеріалу при її термообробці можна представити в спосіб наведений на рисунку 1.1. На першому етапі термообробки на поверхні матеріалу відбувається випаровування вологи і утворюється поверхнева кірка. При цьому для глинозему характерне утворення пористої кірки, яка частково затримує пороутворюючі пари. Можна провести аналогію з вспінням піноскла, але для піноскла характерно, що кірка не пропускає газу [6]. Поверхнева кірка зазнає напруження на розтяг в процесі спучування. Напруження тим більше, чим щільніше кірка, тобто, чим більше вона перешкоджає виходу пороутворюючих газів. У сировинній суміші виникають центри пороутворення.

На наступному етапі термообробки сировинної суміші глинозему при початковому градієнті температур, в поверхневих шарах матеріалу починають утворюватися пори, а самі шари при цьому спучуються, впливаючи при цьому як на поверхневу кірку, так і на внутрішні шари. При цьому внутрішні шари стискаються, збільшуючи свою щільність і вивільняючи частково капілярну вологу в зовнішні шари. Виникає псевдостійка зона Б, в якій напруги діють в різних напрямках і в якій відбувається більш рівномірне спучення матеріалу.

Частина водяних парів із сухої зони А дифундують назад в зону Б. Також водяні пари, що утворилися в зоні В, також надходять в зону Б. Це приводить до різкого підвищення швидкості збільшення об'єму пір у зоні Б і, при певних умовах, з'являється розрив між зонами (тріщина, розшарування). При цьому в зоні А спостерігається нерівномірна пористість через нерівномірність виходу газів назовні і через дифундування частини газів в зону Б. У зоні В спостерігається збільшена щільність і малі за розміром пори. Це підтверджується і проведеними експериментами [7].

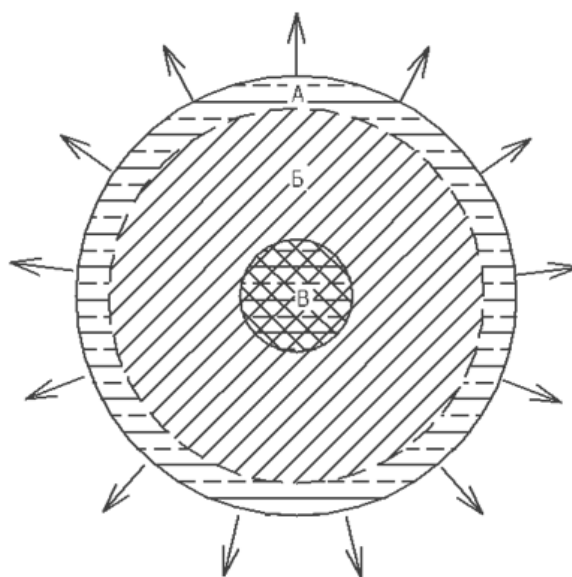


Рисунок 1.1 – Принципова схема утворення пір в сферичній частинці сировинній суміші гіросилікату

Як слідує з принципової схеми утворення пір в сферичній частинці сировинній суміші глиноземистого матеріалу, для створення рівномірної пористості по теплоізоляційному матеріалу необхідно звести температурний градієнт по сировинній суміші до мінімуму, а також необхідно дотримуватися однорідної в'язкості в сировинній суміші. Температурний градієнт по сировинній суміші зводиться до мінімуму або за рахунок більш повільного розігріву печі з матеріалом або за рахунок зменшення теплового опору.

Тепловий опір раціонально зменшувати шляхом зменшення товщини матеріалу (наприклад, при спіканні порошків). Також важливо мінімізувати локальні екзо– і ендотермічні реакції, які можуть викликати нерівномірність спучування.

Для визначення внутрішньоструктурних зрушень в сировинній суміші глиноземистих матеріалах при її термообробці було проаналізовано наступні експерименти [8]. У зразки сировинної суміші з глини різного родовища розміщувались тонкі шматки мідного дроту в якості індикатору. Після чого зразки піддавалися термообробці при різній температурі. Схема зміни розташування шматків дроту в більшості зразках після спучування сировинної суміші показано на рисунку 1.2.

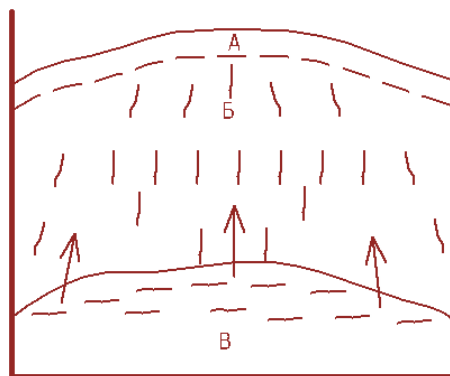


Рисунок 1.2 – Схема зміни розташування індикаторів у сировинній суміші теплоізоляційного глиноземистого матеріалу при її термообробці

Як слідує з [9], спучування однорідної сировинної суміші теплоізоляційного глиноземистого матеріалу, що знаходиться в обмеженому просторі, в будь-якій точці повинно бути приблизно рівним і спрямованим до центру неізольованої поверхні. Також, аналіз показує наявність структурних внутрішніх зрушень у сировинній суміші теплоізоляційного глиноземистого матеріалу при його термообробці (оскільки індикаторні дроти зробили поступально–обертальний рух). При цьому варто відзначити, що розташування індикаторних дротів не вплинуло на форму пір теплоізоляційного матеріалу, що свідчить про неможливість впливати на формування пористої структури

теплоізоляційного матеріалу за рахунок сторонніх включень, які не вступають до хімічної реакції з сировинною сумішшю [10].

Для визначення впливу пороутворюючих газів (CO_2 , H_2O , а також можливих CO , H_2 , H_2S , SO_2) на процес формування пористої структури теплоізоляційного матеріалу з силікатів глинозему, наявні одинадцять зразків піддавалися термічній обробці при температурах $750\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 8 хвилин [9]. Даної температури досить для виділення газів агентів-пороутворювачів, але при цьому вона нижча за температуру формування муліту та шамоту. Після термообробки в усіх зразках спостерігались наступні зміни: пори – за розміром *rhagys*, але не сферичні; іноді виникає велика пора всередині матеріалу; матеріал стає міцнішим, що пов'язано з утворенням каоліту; виникають більш виразні тріщини; матеріал з чистої глини і досі крихкий, але пори більш нерівномірні і різні за розміром.

1.4 Процеси тепломасообміну у пористих структурах

При дослідженні процесів тепло - і масопереносу з фазовими перетвореннями в пористих матеріалах найбільший інтерес представляють не повністю насичені пористі середовища. Взаємодія фаз всередині тіла значно ускладнює процеси переносу, приводячи до взаємопов'язаному тепло - і масопереносу. Облік такого зв'язку важливий при вивченні просування вологи в ґрунтах, який супроводжується складними фізико-хімічними процесами, при розробці технологічних процесів сушки вологих матеріалів.

Зміна фізичних властивостей вологих матеріалів, що піддаються термічній обробці, обумовлено характером зв'язку поглиненої рідини з речовиною основа пористого тіла. Всі форми зв'язку вологи з матеріалом діляться на три великі групи: хімічний зв'язок, фізико-хімічний (адсорбційний і осмотичний) і фізико-механічний (капілярний зв'язок і змочування).

Хімічно зв'язана вода утримується найбільш міцно і при нагріванні речовини до $120\text{-}150\text{ }^\circ\text{C}$ не видаляється.

У стані термодинамічної рівноваги вологий матеріал характеризується певним змістом води u_e (рівним відношенню маси рідини до маси сухого матеріалу), яке називається рівноважним або гігроскопічним. У цьому випадку тиск пара в матеріалі p_m рівне парціальному тиску пари вологого повітря p_v ($p_m = p_v$) або відносна вологість повітря φ ($\varphi = p_v / p_e$), де p_e - тиск насиченої пари вільної води при даній температурі, дорівнює відносному тиску пара в матеріалі ($\varphi = p_v / p_e$). Рівноважний вологовміст тіла u_e залежить від φ і від його температури $T(u_e = u_e(\varphi, T))$.

Ізотерми сорбції і десорбції - це графічна залежність u_e від φ при постійній температурі з урахуванням шляху досягнення рівноваги - сорбції або десорбції. Ізотерми і десорбції мають S-подібний характер і не збігаються між собою, тобто має місце гістерезис сорбції і десорбції (рис.1.3).

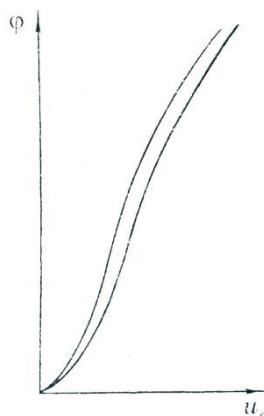


Рисунок 1.3. Сорбційний гістерезис ґрунту (функції 0,006-0,02 мм)

Аналіз ізотерм сорбції та десорбції дозволяє зробити наступні висновки:

а) ділянку ізотерми при $0 < \varphi < 0,1$ має характерну для мономолекулярної адсорбції опуклість кривої до осі вологовмісту; поглинання рідини супроводжується виділенням тепла;

б) для $0,1 < \varphi < 0,9$ ізотерма звернена опуклістю до осі вологості повітря, що характерне для полімолекулярної адсорбції;

в) на ділянці $0,9 < \varphi < 1,0$ рідина (в основному капілярна) поглинається без виділення тепла.

Існують різні емпіричні вираження для ізотерм сорбції і десорбції. Так, ізотерма сорбції для ґрунтів описується співвідношеннями

$$u_e = A\varphi^{0.5} \text{ при } 0 < \varphi < 0,35;$$

$$u_e = A_0 + B\varphi^2 \text{ при } 0,35 < \varphi < 1,94,$$

де A , A_0 , B – постійні коефіцієнти, які залежать від складу ґрунту (для чорнозему $A=5,4$; $A_0=2,88$; $B=6,3$). Адсорбційна зв'язана волога за своїми властивостями відрізняються від звичайної (свобідної) рідини.

Подальше поглинання рідини понад максимального гігроскопічного вологовмісту ($\varphi=1$) відбувається шляхом безпосередньо дотику матеріалу з рідиною (заповнення макрокапілярів, осмотичне поглинання рідини).

Осмотичний зв'язок води найбільш яскраво проявляється в розбавлених розчинах. Умовою для її утворення є дифузія розчинника через напівпроникну оболонку, що розділяє розчин і розчинник або два розчини різної концентрації, через зниження хімічного потенціалу розчинника і присутності молекул розчиненого речовини. В результаті дифузії розчинника в розчин в останньому виникає тиск (осмотичний) розчиненої речовини на напівпроникну перегородку. Формула для розрахунку осмотичного тиску p_{oc} (закон "Вант - Гоффа) аналогічна рівняння стану ідеального газу:

$$p_{oc}V = n\bar{R}T,$$

де V - об'єм розчину, n - число молей розчиненої речовини.

Осмотичне поглинання рідини відіграє важливу роль в процесі набухання колоїдних тіл, що становлять скелет із замкнутих клітин, стінки

яких складаються з нерозчинних високомолекулярних фракцій. У клітинах знаходиться розчинна низькомолекулярна фракція. Рідина, яка осмотично поглинається, за своїми властивостями не відрізняється від вільної рідини.

Явище осмосу має велике значення у функціонуванні багатьох органів тварин і рослин, оболонки яких (напівпроникні перегородки - мембрани) здатні пропускати молекули води і затримувати молекули розчинених у воді речовин. Наприклад, величина осмотичного тиску клітин багатьох рослин значно перевищує атмосферний тиск, що відображає наявність процесу всмоктування ними води.

Напівпроникні мембрани широко використовуються і в технологічних процесах очищення, розділення і концентрування рідких розчинів. Мембрани бувають пористі і дифузійні. Дифузійні мембрани являють собою квазігомогенні гелі, через які речовини проникають під дією градієнта концентрації.

Серед мембранних процесів особливо поширені баромембранні, рушійною силою яких є різниця тиску по обидві сторони мембрани. До них відносяться мікрофільтрація, ультрафільтрація і зворотний осмос. Зокрема, зворотний осмос полягає в фільтруванні розчинів під тиском, що перевищує осмотичний, через напівпроникні мембрани, які пропускають молекули розчинника і повністю або частково затримують молекули (іони) розчинених речовин. Таким чином, якщо з боку розчину прикласти тиск, перевищуючи осмотичний, то перенесення розчинника буде відбуватися в зворотному напрямку, тобто матиме місце концентрування розчину.

Існують різні гіпотези про механізм напівпроникності мембран. Наприклад, відповідно до моделі «просіювання» [10], розміри пір в мембранах дозволяють пропускати молекули розчинника, але затримують молекули розчиненої речовини. Деякі моделі засновані на процесі адсорбції речовини в мембранах через їх великої внутрішньої поверхні. Однак подібні прості моделі не в змозі пояснити багато експериментальних фактів мембранних процесів, в основі яких лежать складні явища взаємодії розділюваної системи з матеріалом

мембрани. Зокрема, в баромембранних процесах поділу важливу роль відіграють поверхневі явища.

Як уже зазначалося, рідина, яка знаходиться в капілярах, і рідина змочування відносяться до фізико-механічно зв'язаної рідини. У цих випадках на процеси масопереносу в катілярно-пористих тілах істотний вплив надають поверхневі явища.

1.5 Поверхнєве явище в капілярах пористих теплоізоляційних матеріалів

Капілярний зв'язок рідини характеризується коефіцієнтом поверхневого натягу σ і її капілярним тиском p_σ / l . Поверхня рідини, яка стикається з іншим середовищем, має надлишкову порівняно з рештою маси рідини вільну енергією. Коефіцієнт σ можна визначити як вільну енергію одиниці площі цієї поверхні, чисельно він дорівнює силі, що діє уздовж поверхні рідини і прикладеної до одиниці довжини міжфазної границі.

Змочування має місце на кордоні розділу трьох фаз: твердого тіла, рідини і газу. Характеристикою змочування, тобто співвідношення сил взаємодії між частинками рідини і частинками твердого тіла, з яким вона контактує, служить крайовий кут $\bar{\theta}$, утворений дотичною до поверхні рідини і поверхнею твердого тіла (рис.1.4).

При $\bar{\theta} = 0$ рідина розтікається тонким шаром по поверхні твердого тіла (повне змочування). При $\bar{\theta} < \pi/2$ забезпечується часткове змочування (така поверхня називається ліофільною), а при $\bar{\theta} > \pi/2$ - часткове незмочування (ліофобна поверхня). Слід зазначити, що величина кута змочування залежить від того, яка поверхня твердого тіла (суха або попередньо змочена) приходить в зіткнення з рідиною, тобто спостерігається гістерезис змочування [11].

Капілярний тиск - p_σ є додатковим тиском поверхневого шару рідини, обумовленим кривизною поверхні, і визначається формулою Лапласа

$$p_{\sigma} = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right),$$

де r_1 і r_2 – головні радіуси кривизни нормальних перетинів в точці поверхні, яку роздивляються. Тиск p_{σ} направлений до центру поверхні. У випадку опуклої поверхні воно позитивно і направлено всередину рідини, тобто добавляється до нормального тиску рідини. Для увігнутих поверхонь p_{σ} негативне.

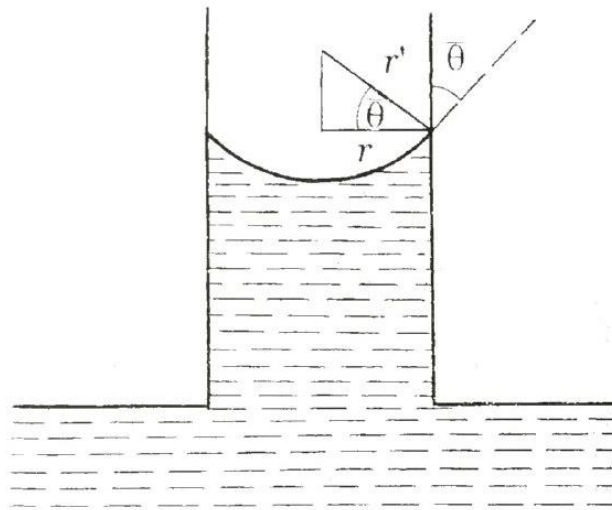


Рис.1.4 - Увігнутий меніск рідини в капілярі

Якщо поверхню рідини вважати сферичною ($r_1 = r_2 = r'$) (рис.1.4), то капілярний тиск

$$p_{\sigma} = \frac{2\sigma}{r'}, \quad r' = \frac{r}{\cos \theta}.$$

Для циліндричної форми поверхні меніску

$$p_{\sigma} = \frac{\sigma}{r'}.$$

1.6 Взаємозв'язаний тепло- і масопереносу при фазових перетвореннях

За допомогою методів термодинаміки незворотних процесів отримана система рівнянь, що описує різні явища переносу в їх взаємозв'язку. При цьому визначені відповідні потенціали і макроскопічні коефіцієнти переносу. Зокрема, взаємопов'язаний тепло – і масоперенос в капілярно-пористих тілах з урахуванням фазових перетворень за умови, що загальна зміна питомого вологовмісту тіла u обумовлено переносом вологи і фазовим перетворенням рідини в пар, представлений в одновимірному випадку системою рівнянь

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c_p \rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\Psi Q}{c_p} \frac{\partial u}{\partial t},$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\chi' \frac{\partial u}{\partial x} + \chi' \delta' \frac{\partial T}{\partial x} \right).$$

У загальному випадку коефіцієнти переносу залежать від вологовмісту u та температури T . Їх фізичний зміст докладно пояснюється в роботі [12]: χ' - коефіцієнт дифузії вологи, аналогічний коефіцієнту теплопровідності, $\chi' = \lambda' / c' \rho_0$, де ρ_0 - щільність сухого тіла, c' - питома ізотермічна масоємність; λ - коефіцієнт теплопровідності; c_p - питома теплоємність; термоградієнтний коефіцієнт δ' включає в якості одного з доданків відношення коефіцієнтів термодифузії і дифузії вологи; критерій фазового перетворення ψ характеризує відношення зміни вмісту вологи за рахунок випаровування до загальної зміни вологовмісту; Q - теплота фазового перетворення. Значення коефіцієнтів переносу та термодинамічних характеристик залежать від кількісного співвідношення різних форм вологи в речовині.

Система рівнянь вирішується з відповідними граничними умовами. Запишемо граничні умови третього роду на поверхні тіла:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha(T_\alpha - T) - Q(1 - \psi)\rho_0\alpha'(u - u_e) = 0,$$

$$\chi' \frac{\partial u}{\partial x} + \chi' \delta' \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha' (u - u_e) = 0,$$

де α , α' - коефіцієнт теплообміну і масообміну відповідно, T_a – температура середовища, u_e рівноважний вологовміст.

Критерій фазового перетворення ψ , частіше за все розглядається як безперервна функція координат (або вмісту вологи). При наявності поглиблення зони випаровування всередину тіла система рівнянь досліджується для кожної із зон, а $\psi(u)$ представляється у вигляді розривної функції.

Якщо припустити, що в зоні випаровування переміщається тільки пар ($\psi = 1$) і відсутній градієнт вмісту вологи, а у вологій зоні волога являє собою суміш пари і рідини ($\psi \neq 0$), то рішення вихідної задачі зводиться до вирішення рівняння теплопровідності в першій зоні і рівнянь у другій зоні. Крім того, оскільки вміст вологи кожної із зон не змінюється і у вологій зоні знаходиться тільки рідина ($\psi_2 = 0$), отримуємо задачу типу Стефана [12].

При високоінтенсивних процесах сушіння всередині вологого матеріалу має місце градієнт загального тиску вологого повітря, поява якого пояснюється тим, що капілярно-пористе тіло має великий опір фільтраційному руху парогазової суміші, тобто що виникає за рахунок випаровування рідини перепад тиску вологого повітря не релаксує миттєво. Система рівнянь тепло- і волого переносу в цьому випадку видозмінюється, тому що у виразі для сумарного потоку вологи враховується додатковий член, пропорційний градієнту тиску $\bar{V}p$ (в кожному з рівнянь праворуч з'являється член, пропорційний $\bar{V}p$), і додається рівняння щодо p (дифузійно-фільтраційний вологоперенос).

Облік кінцевої швидкості поширення речовини в рамках даної лінійної теорії взаємопов'язаного тепло - і вологопереносу призводить до системи рівнянь [12]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c_p \rho_0} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\Psi Q}{c_p} \frac{\partial u}{\partial t},$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \tau' \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \chi' \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \chi' \delta' \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}.$$

Останнє рівняння відноситься до гіперболічного типу, а рівняння енергії є звичайним параболічним, оскільки час релаксації теплового потоку значно менше часу релаксації потоку маси τ' .

Відзначимо, що ефект кінцевої швидкості поширення вологи може бути описаний також нелінійним рівнянням конвективної дифузії для ненасичених середовищ.

1.7 Багатофазова фільтрація

Серед достоїнств теорії А.В. Ликова необхідно відзначити її спільність і простоту. Недоліки цієї теорії проявляються при необхідності опису одночасної дії декількох механізмів масопереносу (за відсутності єдиного потенціалу вологопереносу). Крім того, застосування рівнянь [1] не розкриває реальні механізми перенесення вологи, і не дозволяє знайти розподіл фаз в пористому тілі. Тому часто використовується теорія багатофазної фільтрації, в якій середні швидкості руху кожної з фаз (рідкої і газоподібної) представлені рівняннями, аналогічними. Рух кожної з фаз залежить від сил тиску і взаємного розташування фаз в поровом просторі.

Запишемо систему рівнянь багатофазної фільтрації стосовно фільтрації двухфазної суміші (рідини і її пари) з урахуванням випаровування в пористому тілі, тобто процесом дифузії нехтуємо, вважаючи випаровування досить інтенсивним.

Нехай θ_g , - насиченість пористого тіла паром (об'єм пір, зайнятих паром, в одиниці об'єму порового простору), θ_f - насиченість пористого тіла

рідиною. Тоді $\theta_g + \theta_f = 1$. Рівняння нерозривності для газової фази в одновимірному випадку має вигляд

$$\varepsilon \frac{\partial \theta_g \bar{\rho}_g}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho}_g W_g)}{\partial x} = J_{fg},$$

де ε - пористість, а вираз для інтенсивності випаровування з урахуванням (3.7) може бути наближено записано наступним чином [12]

$$J_{fg} \approx \frac{p_e(T) \exp\left[-\frac{p_\sigma M}{RT \bar{\rho}_f}\right]}{\sqrt{2\pi \frac{R}{M} T}} \varepsilon \frac{\partial \theta_g}{\partial x}.$$

У формулі останній множник являє собою наближене вираження для поверхні випаровування (по аналогії з капілярною моделлю пористого тіла).

1.8 Передача теплопровідністю в пористому середовищі

Розглянемо перенос теплової енергії теплопровідністю в повністю насичених пористих середовищах при наявності локальної теплової рівноваги між фазами, тобто аналізується ефективна теплопровідність пористого тіла в однотемпературному наближенні.

Ефективний коефіцієнт теплопровідності λ_{ef} залежить як від коефіцієнтів теплопровідності кожної з фаз – λ_s і λ_f (або λ_g), так і від структури пористого тіла. У роботі [12] відзначається, що передача тіла в пористих (або дисперсних) середовищах здійснюється наступним чином:

- теплопровідністю частин матеріалу;
- теплопровідністю рідини або газу (при певних значеннях числа Кнудсена залежність λ_{ef} стає істотною);
- контактною теплопровідністю між частинками;

– випромінюванням від частинки до частинки (при високих температурах);

– теплопровідністю газового мікропростору між частинками.

У літературі є величезна кількість розрахункових співвідношень для λ_{ef} , заснованих на різних спрощеннях реальної фізичної картини процесу. Наведемо деякі з них.

Найпростіші вирази для λ_{ef} виходять при розгляді системи, що складається з один з одним плоских шарів твердого скелета і газу (або рідини), які чергуються. Шари можуть бути розташовані як перпендикулярно напрямку теплового потоку (мінімальне значення λ_{ef}), так і паралельно йому (максимальне значення). Тоді відповідно

$$\frac{1}{\lambda_{ef}} = \frac{1-\varepsilon}{\lambda_s} + \frac{\varepsilon}{\lambda_g} \quad \text{або} \quad \lambda_{ef} = \frac{\lambda_s \lambda_g}{\varepsilon \lambda_s + (1-\varepsilon) \lambda_g}$$

$$\lambda_{ef} = \varepsilon \lambda_g + (1-\varepsilon) \lambda_s.$$

Дані вирази описують граничні випадки і не враховують реальної структури пористого тіла (характер контактів і т.д.). Тому вони можуть служити лише для позначення діапазону реальних значень λ_{ef} [13].

Наведемо одну з формул для визначення контактної теплопровідності λ_k , зернистих матеріалів [14]

$$\lambda_k = 3,37(1-\varepsilon)^{4/3} \lambda_s \left(\frac{p}{E} \right)^{1/3} + \lambda_{ce},$$

де E - модуль Юнга (Н/м^2), p - питома навантаження (тиск) на матеріал, що визначається наявністю додаткового зовнішнього навантаження λ_{ce} – контактна теплопровідність у стані вільної засипки. Для засипок металевих частинок $\lambda_{ce} \approx (3 \div 10) \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·град), а для частинок мінерального походження $\lambda_{ce} \approx (2 \div 15) \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·град).

В роботі [15] отримано вираз для λ_{ef} неметалічних і металічних зернистих твердопористих матеріалів, в якій враховуються контактна теплопровідність, передача тепла по мікроазору, променистий теплоперенос:

$$\frac{\lambda_{ef}}{\lambda_s} \approx \frac{1}{\frac{1}{(h/L)^2} + A} + \frac{(\lambda_g + B)}{\lambda_s} (1 - h/L) + \frac{2}{1 + \frac{h}{l} + \frac{\lambda_s L}{\lambda_g h}},$$

$$L = l + h, \quad \frac{h}{L} = \frac{h/l}{1 + h/l}.$$

В [16] відношення $\frac{h}{l}$ та $\frac{h}{L}$ є функціями пористості системи; в [43] приведена таблиця залежності між пористістю ε і відношенням ширини осередку до висоти пори $\frac{h}{l}$ (зокрема, для $\varepsilon=0,3$, $\frac{h}{l}=1,75$; $\varepsilon=0,4$, $\frac{h}{l}=1,29$ та $\varepsilon=0,5$, $\frac{h}{l}=0,846$). Величина A визначає вплив контакту між двома сусідніми частинами і променистого теплопереносу на ефективну теплопровідність пористого середовища:

$$A = \left\{ \frac{\lambda_K}{\lambda_s} + \frac{1}{4} \left[\frac{\lambda_g}{\lambda_s B_1} + \frac{B_2}{\lambda_s} \right] \left(\frac{h}{l} \right)^2 \cdot 10^3 \right\}^{-1},$$

де величини $B_1 \approx 1,5 \div 2$; $B_2 = 2\varepsilon_r^2 \delta T^3 l$ (σ постійна Стефана-Больцмана, ε_r - ступінь чорноти поверхні пор) враховують наявність мікрошорсткості частинок і передачу тепла випромінюванням [43]. Вплив випромінювання є істотним при глибокому вакуумі і досить високих температурах.

У [17] пропонується формула Крупички для λ_{ef}/λ_f в разі упакованих шарів сферичних частинок, справедлива в широкому діапазоні зміни λ_s/λ_f :

$$\frac{\lambda_{ef}}{\lambda_f} = \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_f} \right)^{0,28 - 0,7571 \log \varepsilon - 0,0571 \log(\lambda_s / \lambda_f)}.$$

Наведемо ще кілька емпіричних виразів для λ_{ef} пористих металів, які широко застосовуються в машинобудуванні та інших галузях промисловості. Для розрахунку λ_{ef} таких матеріалів з $\varepsilon > 0,4$ використовується залежність $\lambda_{ef} = \lambda_s(1 - \varepsilon)^2$, а для малих пористостей ($\varepsilon < 0,6$) може бути рекомендовано вираз /44/ $\lambda_{ef} = \lambda_s(1 - 1,5\varepsilon)$, яке задовільно апроксимує експериментальні значення λ_{ef} пористих металів з достатньо досконалими контактами. Якщо має місце недосконалість міжчастинних контактів, необхідно користуватися експериментальними даними. Наприклад, розрахунок теплопровідності пористого сплаву W - Мо можна проводити за формулою

$$\lambda_{ef} = [\xi\lambda_w + (1 - \xi)\lambda_{Mo}](1 - 1,7\varepsilon),$$

де ξ - вміст вольфраму. При дослідженні теплопровідності пористих зразків з металевих волокон використовується співвідношення

$$\frac{\lambda_{ef}}{\lambda_s} = 0,25 \left\{ 1 - (2\nu + 1)\varepsilon + \sqrt{[1 - (2\nu + 1)]^2 + 8\nu(1 - \varepsilon)} \right\},$$

де ν - відносний лінійний розмір контакту між волокнами, що дорівнює відношенню лінійного розміру контакту до діаметру волокна. При $\nu \rightarrow 0$ отримуємо вираз

$$\frac{\lambda_{ef}}{\lambda_s} = 0,5(1 - \varepsilon),$$

який дає результати, які задовільно узгоджуються з експериментальними даними при $\varepsilon > 0,55$.

Тиск газу-наповнювача в порах суттєво впливає на ефективну теплопровідність пористих тіл. Хоча коефіцієнт теплопровідності газів при

нормальних умовах не залежить від тиску, в пористих тілах така залежність може мати місце навіть при нормальному зовнішньому тиску. Це пов'язано з тим, що розміри пір часто можна порівняти з середньою довжиною вільного пробігу молекул і на теплопровідність газу в порах впливають кінетичні ефекти, обумовлена залежність λ_g від тиску [18]:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_{g0}}{1 + \frac{4c_p}{c_p + c_v} \frac{Kn}{Pr}},$$

де λ_{g0} – коефіцієнт теплопровідності газу при нормальному тиску ($Kn \rightarrow 0$);

c_p, c_v - питомі теплоємності газу при постійних тиску і об'ємі відповідно;

Kn - критерій Кнудсена, рівний відношенню середньої довжини вільного пробігу молекул газу до розміру пори або до діаметру частинки; коефіцієнт акомодатії прийняті рівними одиниці.

Залежність даного типу є істотними при розрахунку теплоізоляції, вживаної в вакуумній техніці. Такі теплоізоляційні матеріали представляють собою дрібнодисперсні середовища з великими об'ємами пір різних розмірів (які містять порожнечі між частинками зернистого матеріалу і пори в самих зернах) [19].

До подібних матеріалів відносяться так звані аерогелі [20-23] - високопористі матеріали ($\varepsilon > 0,9$) з незвичайною структурою. Широко застосовується теплоізоляційний матеріал – аерогель кремнієвої кислоти виходить шляхом видалення рідини з гелю кремнієвої кислоти. У роботі [47] висловлено припущення про те, що структура аерогеля побудована з молекулярних кластерів. Найдрібніші «первинні частинки» представляють собою сфери діаметром менше 1 нм. Ці сфери об'єднуються в так звані вторинні частинки (пористі), які утворюють ланцюги, які складають тендітну і виключно пористу структуру аерогелю.

Характерний розмір пір аерогеля R_a можна визначити з формули [24] $R_a \sim r_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{1/(3-d_f)}$, де r_0 - розмір частинок, що входять в аергель, ρ_a - масова щільність аерогеля. При $r_0 \ll r \ll R_a$, аергель володіє фрактальними властивостями, а при $r \gg R_a$ він є в середньому однорідним. Дослідженню процесу перенесення тепла в наноструктурних пористих матеріалах присвячена робота [25]. Розглядається, зокрема, кореляція вкладів в ефективний коефіцієнт теплопровідності складових λ_s , λ_g радіаційного теплопереносу зі структурними характеристиками аерогелів. Відзначається, що в аергель, де середній розмір пор може не перевищувати 100 нм, λ_{ef} навіть при атмосферному тиску може бути менше коефіцієнту теплопровідності λ_g повітря, яке заповнює пори ($Kn > 1$).

У монографії [5] приведена формула для ефективного коефіцієнта теплопровідності аерогеля, задовільно узагальнююча експериментальні дані

$$\lambda_{ef} = \lambda_1 \frac{\rho_1}{\rho_a} + \lambda \left(\frac{\rho_a}{\rho_1} \right)^n .$$

У виразі перший доданок описує перенесення тепла молекулами газу, а друге - перенесення тепла в матеріалі аерогеля; тут $\lambda_1 = 0,78$ Вт/(мК); $\lambda_2 = 1,8$ Вт/(мК); $n = 1,7$; $\rho = 0,05$ г/см³.

Для дослідження переносних властивостей неоднорідних середовищ використовуються різні теоретичні методи. Широко відома, зокрема, теорія узагальненої провідності [26]. Суть даної теорії полягає в наступному. Ефективний коефіцієнт теплопровідності пористого тіла дорівнює, за визначенням, коефіцієнту пропорційності між середніми (за об'ємом пористого тіла) величинами потоку тепла та градієнту температур. Градієнта температури. Для знаходження λ_{ef} спочатку необхідно вирішити задачу теплопровідності в кожній з фаз з урахуванням відповідних граничних умов, а потім провести

усереднення за обсягом пористого тіла. Однак подібний процес для складних неоднорідних систем пов'язаний з великими математичними труднощами. Тому для приближеного замикання процедури визначення λ_{ef} часто вдаються до геометричного моделювання структури неоднорідної системи, а потім до виділення елементарної комірки в модельній структурі [27]. Обрана елементарна комірка повинна володіти особливістю представницького елемента, тобто мінімального обсягу неоднорідного середовища, фізичні та геометричні характеристики якого відповідають властивостям всього масиву. Аналіз процесу теплопровідності в елементарній комірці є більш простим, ніж у всій реальній хаотичній пористій структурі.

1.9 Конвективний тепло перенос у пористому тілі

Хаотична структура пористих тіл є причиною нерегулярності поля швидкості, концентрації, температури и т.д. в паровому просторі. Характерний масштаб мікронеоднорідностей, які визивають додаткові ефекти переносу тепла та маси за рахунок хаотичного змішування, має порядок характерного розміру пор. Ці дисперсні ефекти проявляються в ефективних коефіцієнтах теплопровідності теплоносія та конвективної дифузії.

Крім цього, в пористих тілах можуть бути неоднорідності (випадкові та детерміновані) через нерегулярного розподілу пористості. Характерний розмір неоднорідностей значно перевищує масштаб мікронеоднорідностей та має порядок масштабу неоднорідності проникності пористого середовища. Подібні неоднорідності призводять до нерегулярності середніх характеристик. Досліджу на основі статистичного підходу фільтраційних процесів в таких неоднорідностях.

Нерегулярність поля швидкостей в реальних пористих тілах є причиною не тільки збільшення ефективного коефіцієнту теплопровідності λ_{ef} , але і дисперсії домішок розчиненої речовини або рідини частинок в процесі фільтрації рідини [28]. Сумарний масоперенос в даних умовах описується

рівнянням конвективної дифузії x ефективним коефіцієнтом дифузії (дисперсії), які залежать від середньої швидкості.

В простішому випадку (пористе середовище замінюється деякою еквівалентною капілярною трубкою радіусом r) маємо

$$\frac{\partial \tilde{c}}{\partial t} + W \frac{\partial \tilde{c}}{\partial x} = D_{ef} \frac{\partial^2 \tilde{c}}{\partial x^2}.$$

де \tilde{c} - середня по перетину трубки концентрація (щільність) домішок.

$$D_{ef} = D + \frac{r^2 w^2}{48D},$$

де D – коефіцієнт молекулярної дифузії, w - середня швидкість в трубці.

Цей процес аналогічний ефекту розмиття контуру об'єма речовини, який введено до текучої по трубці рідини, через конвекції та дифузії. Проте для складних пористих середовищ такий підхід є достатньо грубим, так як враховує дисперсію домішок тільки у потоці, який фільтрується, в нерегулярному пористому середовищі.

На основі статистичних методів в [29] для щільності вірогідності процесу розсіювання домішок потоком в пористому середовищі отримано інтегральне рівняння Смолуховського, з якого для середньої характеристики – концентрації домішок – слідує дифузійне рівняння Фоккера-Планка. Один з коефіцієнтів цього рівняння представляє собою середню швидкість фільтраційного потоку, а другий – тензор фільтраційної дисперсії.

Другий підхід для описання конвективної дифузії в пористому середовищі запропонований в ранніх роботах [5]. При усередненні локального рівняння конвективної дифузії в окремій порі, но з урахуванням флуктуації полів швидкості і концентрації, використовується припущення (по аналогії з теорією турбулентності) про те, що середня від добутку пульсації швидкості і концентрації дає додатковий пульсаційний потік речовини (потік змішування), пропорційний градієнту середньої по паровому простору концентрації.

Коефіцієнт пропорційності є тензором конвективної дифузії, який залежить від вектора середньої швидкості \bar{v}

$$|D_{\alpha\beta}^d| = (\lambda_1 - \lambda_2) \frac{v_\alpha v_\beta}{|\bar{v}|} + \lambda_2 |\bar{v}| \delta_{\alpha\beta},$$

де λ_1 та λ_2 – відповідно поздовжній і поперечний параметри розсіювання пористого середовища, які мають розмірності довжини; індекси α , β відносяться до декартових координатам, $\delta_{\alpha\beta}$ – одиничний тензор.

В [30] відмічається, що $\lambda_2 / \lambda_1 \approx 0,1$, тобто подовжня дисперсія більше поперечної, так як поперечна дифузія контролюється молекулярним переходом частинок з однієї лінії току на іншу. При цьому $\lambda_1 \approx 10^2 \sqrt{K_0}$ (для високо проникних середовищ $K_0 \approx 10^{-9} \text{ м}^2$, для мало проникних $K_0 \approx 10^{-13} \text{ м}^2$). В загальному випадку λ_1 та λ_2 залежать від дифузійного числа Пекле

$$Pe_D = w d_s / D.$$

В припущенні, що направлення швидкості фільтрації співпадає з віссю x_1 , тензор конвективної дифузії $|D_{\alpha\beta}^d|$ можна замінити коефіцієнтами поздовжньої $D_{\parallel}^d = \lambda_1 v$ і поперечної $D_{\perp}^d = \lambda_2 v$ дифузії. Тоді рівняння конвективної дифузії в пористому середовищі запишеться наступним чином:

$$\varepsilon \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + w \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda_1 w \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda_1 w \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_1 w \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_3} \right),$$

де w – швидкість фільтрації, $w = \varepsilon v$; $\lambda_3 = \lambda_2$.

Якщо необхідно врахувати і молекулярну дифузію, сумарний тензор дифузії в пористому середовищі можна представити як

$$|D_{\alpha\beta}| = |D_{\alpha\beta}^d| + \bar{D} I,$$

де I – одиничний тензор, \bar{D} – коефіцієнт ефективної дифузії (без конвекції) в пористому середовищі.

В монографії [31] також отримано рівняння конвективної дифузії. При практичному використанні ефективний коефіцієнт дифузії повинен мати вигляд

$$|D_{im,ef}| = |D_{im}| + |D_{im}^d|.$$

В останньому вираженні $|D_{im,ef}|$ є сумарним ефективним тензором дифузії маси, $|D_{im}|$ – ефективним тензором дифузії маси, який враховує звивистість шляху молекулярної дифузії в реальному пористому тілі $|D_{im}^d|$ – тензором дисперсії маси. Для практичних розрахунків при обчисленні $|D_{im,ef}|$ пропонується [32] прийняти формули, аналогічні виразам для сумарного ефективного тензору дифузії тепла, замінивши в них $|\chi_{fee}|$ на $|D_{im,ef}|$, $|\chi_d|$ на $|D_{im}^d|$ і Pe на дифузійний критерій Пекле Pe_D .

Розглянуті вище ефекти конвективного зміщення в дифузійних процесах існування для фільтраційної течії рідини в пористому середовищі, тобто якщо $Pe_D > 1$. При конвективній дифузії газів в пористих тілах $Pe_D < 1$ і дисперсні ефекти неістотні.

В заключні відмітимо, що для описання руху рідини в ненасичених пористих середовищах в роботі [33] з урахуванням підходу, аналогічного [34], отримано нелінійне рівняння конвективної дифузії.

$$\frac{\partial \theta_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(\theta_{f,x}) \frac{\partial \theta_f}{\partial x} \right] - \frac{B \theta_f}{x} \frac{\partial \theta_f}{\partial x},$$

де θ_f – насиченість, B – константа, $D \approx \theta_f(1 - \theta_f)/x$ – коефіцієнт дифузії.

Це нелінійне рівняння дифузії може описувати рух рідини в ненасиченому середовищі в режимі рухомого з кінцевою швидкістю фронту поширення вологи.

1.10 Енергетичний баланс пороутворювання

Для управління процесом утворення пор необхідно навести рівняння енергетичного балансу процесу пороутворення і диференціальне рівняння теплопровідності.

Баланс енергії вологого пористого матеріалу при його тепловій обробці в нагрітому потоці можна представити рівнянням [35]

$$Q_{\text{Конвекцією}} + Q_{\text{променеве}} = Q_{\text{нагрів(рідини)}} + Q_{\text{пороутворення}} + Q_{\text{нагрів(пари)}} + Q_{\text{нарів(часток)}},$$

де

$$Q_{\text{Променеве}} = A \cdot C_0 \cdot F \cdot \left[\left(\frac{t_{\text{стінки}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{\text{матеріалу}} + 273}{100} \right)^4 \right],$$

$$Q_{\text{нагрів(рідини)}} = M_{\text{ж}} \cdot C_{\text{ср}} \cdot (t_{\text{випарування}} - t_{\text{почат. часток}}),$$

$$Q_{\text{пороутворення}} = M_{\text{ж}} \cdot L,$$

$$\frac{\partial Q_{\text{нагрів(пари)}}}{\partial t} = M_{\text{ж}} \cdot \frac{\partial C_{\text{пари}}}{\partial t} \cdot (t_{\text{кінцеве}} - t_{\text{випарування}}),$$

$$\frac{\partial Q_{\text{нарів(часток)}}}{\partial t} = M_{\text{сухойчастини}} \cdot C_{\text{ср}} \cdot (t_{\text{испарения}} - t_{\text{почат. часток}}) + M_{\text{сухойчастки}} \cdot \frac{\partial C_{\text{частки}}}{\partial t} \cdot (t_{\text{кінцеве}} - t_{\text{випарування}})$$

У даному рівнянні зроблені допущення, а саме використання середньої теплоємності та її постійність в часі. Також не врахована зміна температури матеріалу за об'ємом. Але головне, дане рівняння не показує фізичного значення процесу пороутворення і не враховує хімічний потенціал, а тільки показує процес сушки пористої частки. Для того, щоб врахувати енергію, яка витрачається на пороутворення, необхідно змінити вид даного рівняння.

Витрата тепла на нагрів матеріалу можна обчислити за наступною формулою через щільність теплового потоку

$$\Delta Q_{\text{матеріалу}} = - \int_{\tau_1}^{\tau_2} \int_{(S)} \lambda S \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) \partial S \partial \tau,$$

або через значення температур

$$\Delta Q_{\text{матеріалу}} = c\rho V (\bar{T} - T_H),$$

де \bar{T} – середньоінтегральна температура $\bar{T} = \frac{1}{V} \int_V T dV$.

Для симетричного сферичного гідросилікату (гранули)

$$\bar{T} = \frac{3}{4\pi R^3} \int_0^R \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{\Psi=0}^{\pi} T(r, \tau) r^2 \sin \theta d\theta d\Psi dr,$$

$$\bar{T} = \frac{3}{4} \int_0^R T(r, \tau) r^2 dr.$$

Тіло, яке підлягає пороутворенню, отримує енергію в кількості, необхідному для формування своєї структури. При цьому процес формування полягає в нагріві тіла, формуванні самої структури і охолодженні тіла. Це можна записати наступним чином

$$Q_{\text{охолодження}_\text{повне}} = Q_{\text{охолодження}} + \Delta Q_{\text{пор}},$$

де $\Delta Q_{\text{пор}}$ енергія, витрачена на формування пористої структури.

$$\Delta Q_{\text{пор}} = \Delta U_{\text{пор}} + \Delta L_{\text{пор}},$$

де $\Delta U_{\text{пор}}$ – зміна внутрішній енергії тіла, за рахунок хімічної і механічної дифузії газів.

$\Delta L_{\text{пор}}$ – робота, що здійснюється порами, рівна різниці робіт по розвитку пір (спучення) і їх заростанню (усадка).

Тепло, яке отримує і віддає матеріал при пороутворені, можна записати:

$$Q_{\text{отримане}} = Q_{\text{нагрів}} + Q_{\text{плавління}} + Q_{\text{випаровування}} ;$$
$$Q_{\text{затрачене}} = Q_{\text{охолодження_повне}} + Q_{\text{конденсації}} + Q_{\text{кристалізації}} .$$

2 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ СТВОРЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ БЛОКІВ НА ОСНОВІ ГІДРОСИЛКАТІВ

Розробка методів і приладів для визначення термодинамічних параметрів масопереносу і масообмінних характеристик базується на основних фізичних передумовах сучасної теорії масопереносу і урахуванні залежності зазначених характеристик від форм зв'язку вологи в матеріалі і параметрів стану. В [36-39] розглядається пориста структура силікату вуглецю (SiC) в керамічних виробках. Показано основні реакції отримання силікату вуглецю і залежність пористості отриманого керамічного виробу від синтезу вихідних компонентів. У статті, знімками надається отримана структура матеріалу і її пористість, але при однаковій пористості можна спостерігати абсолютно різну структуру. Також в статті показана залежність теплопровідності від пористості. З показників пористої структури крім загальної пористості, розглядається тільки однорідність розташування і форми пор.

В [40,41] авторами розглядається математична модель зростання парової бульбашки в необмеженому просторі. Теоретично, дану модель можна використовувати при спученні керамзиту парами води. Але експериментальних підтверджень цьому немає.

У роботі [42,43] були отримані керамзитобетони з досить різною структурою пор через незначні варіації складу суміші і температури термообробки. В роботі [44-48] керамзит піддавався впливу високої температури термообробки. Зразки піддавалися впливу тепла з використанням стандартної температурної кривої по ISO-834. Проте, автори не враховували вплив температури і складу на отриману пористу структуру.

2.1 Дослідження процесу пороутворення гідросилікатів та глиноземів

Чиста глина - глина без будь-яких домішок, являє собою породу, яка складається з дрібних дисперсних частинок певного хімічного складу (в основу яких входять гідроалюмосилікати). Глина має властивість ставати пластичною при насиченні її вологою і зберігати форму при її сушінні. Глина це силікат, в який входить глинозем, кремнезем, зв'язана вода, пісок, вапно і т.д. Щільність глини, як правило, при природній загальній вологості 25 % становить 1500-1600 кг/м³. З глини виготовляються такі важливі теплоізоляційні матеріали, як вогнетриви, цеглу і керамзит. Властивості цих матеріалів залежать від хімічного складу і від фракції дисперсних частинок входять до її складу. Тому для проведення серії експериментів спучення гідросилікатів вибиралися глини різного родовища з вмістом діоксиду кремнію від 48 до 65 %, оксиду алюмінію від 3 до 10 %, оксиду заліза не більше 11 %, оксиду кальцію не більше 15 %. Фотографія сировини зображена на рисунку 2.1. Для термообробки використовувалася муфельна піч з термopарами ХК-0,1.



Рисунок 2.1 - Фотографія глинозему

Синтетичні мінеральні наповнювачі, такі як волластоніт і гідросилікат кальцію, на відміну від природних, характеризуються високим ступенем дисперсності, однорідністю за складом і будовою, низьким вмістом домішок, що забезпечує гарну покриваність, непрозорість лакофарбових складів. На відміну від природних мінеральних наповнювачів у процесі синтезу силікатів існує можливість варіювання складу і будови одержуваного продукту.

Гідросилікати кальцію можуть отримуватися шляхом осадження хлористим кальцієм з рідкого скла, або шляхом прямого синтезу з кремнезему, вапна і води. На даний час широко досліджені гідротермальні методи отримання гідросилікатів кальцію і використання їх як наповнювачів, які значно покращують фізико-механічні властивості водно-дисперсних композицій, особливо міцність на стирання та розрив, їх довговічність. Гідротермальний синтез надає можливість регулювання умов синтезу для отримання сполук необхідного фазового складу і будови. Фотографія гідросилікату зображено на рисунку 2.2.

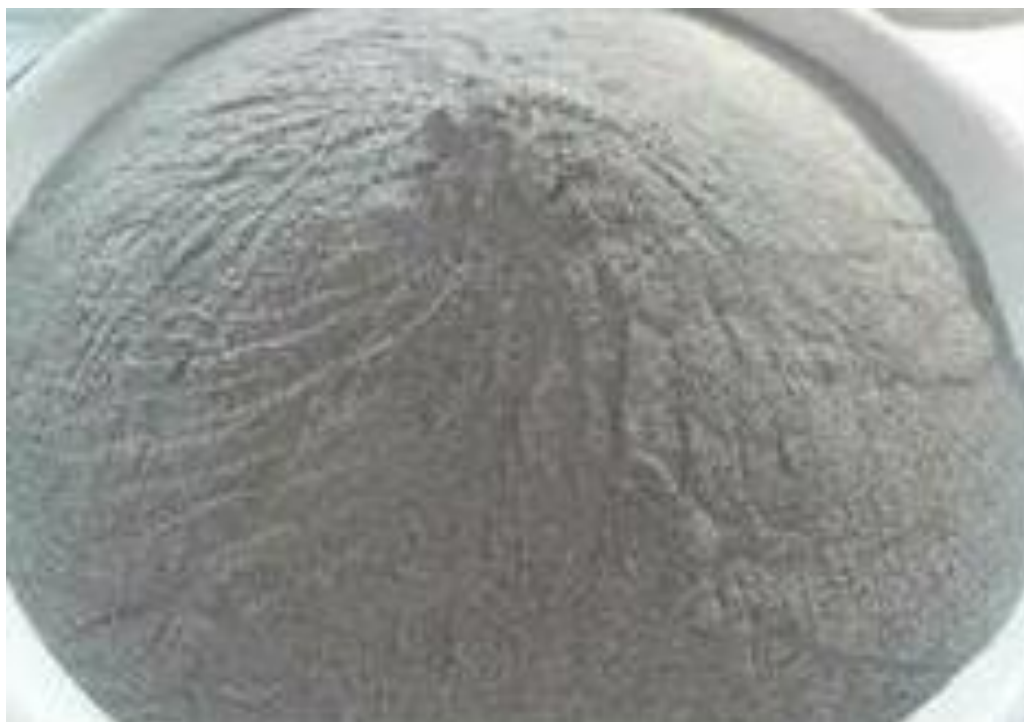


Рисунок 2.2 - Фотографія гідросилікату

Дані зразки наситились до максимальної вологості. Після цього частина кожного зразка висушувалася непрямим прискореним методом (час сушки 10 хвилин, температура печі 130 ° С) визначалася вологість зразків (табл.2.2). Сушка проходила у сушильній печі, що зображена на рисунку 2.2.

Таблиця 2.1 - Характеристика використовуваної глини

№ зразка	Колір	Пластичність	Присутність домішок
1	жовтий	3	мала
2	темно- сірий	2	середня
3	гірчичний	4	мала
4	гірчичний	3	середня
5	сірий	3	велика
6	сірий	3	велика
7	сірий	3	велика
8	сірий	3	велика
9	гірчичний	4	середня
10	темно- сірий	3	середня
11	біла глина	0	відсутні

За кольором отриманого матеріалу можна судити про хід протікань основних реакцій. Так, червоно-бурий колір матеріалу буде свідчити про окислювальні процеси, темно-сірий колір про відновлюючі процеси.



Рисунок 2.2 - Фотографія висушування зразків непрямим прискореним методом

Висушені зразки мали такі характеристики:

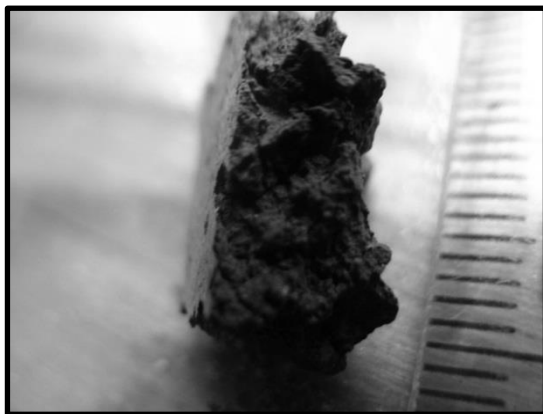
- частина зразка №1 - колір - жовто-гірчичний, з'явилися пори, крихкий;
- частина зразка №2 - колір - не змінився, видно невеликі пори і тріщини, більш міцний;
- частина зразка №3 - колір - жовто-гірчичний, видно трохи малих пор;
- частина зразка №4 - колір - жовто-гірчичний, чітко видно пори і пласти, крихкий;
- частина зразка №5 - колір - не змінився, видно пласти;

- частина зразка №6 - колір - не змінився, чітко спостерігається поділ на два основних пласта;
- частина зразка №7 - колір - не змінився, з'явилися пори і тріщини;
- частина зразка №8 - колір - гірчично-сірий, з'явилися пори і пласти;
- частина зразка №9 - колір - жовто-гірчичний, з'явилися пори і тріщини;
- частина зразка №10 - колір - не змінився, видно невеликі пори і тріщини;
- частина зразка №11 - колір - не змінився, добре видно сферичні пори, відсутні пласти і тріщини, крихкий;

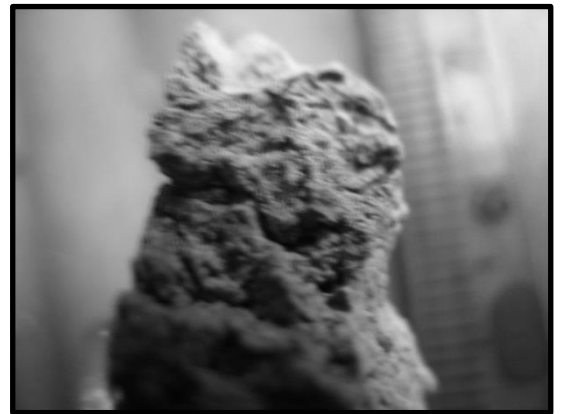
Таблиця 2.2 - Визначення вологості вихідної суміші

№ зразка	Маса до сушки	Маса після сушки	Маса поглиненої води	Вологість W, %
1	12,9	12	0,9	6,9767
2	17,7	16,9	0,8	4,5198
3	20,2	11,4	8,8	43,564
4	17,1	14,3	2,8	16,374
5	15	10,4	4,6	30,667
6	13,7	9,5	4,2	30,657
7	20,8	14,6	6,2	29,808
8	17,9	13,1	4,8	26,816
9	19,5	13,9	5,6	28,718
10	10,4	7,3	3,1	29,808
11	10,4	6,5	3,9	37,5

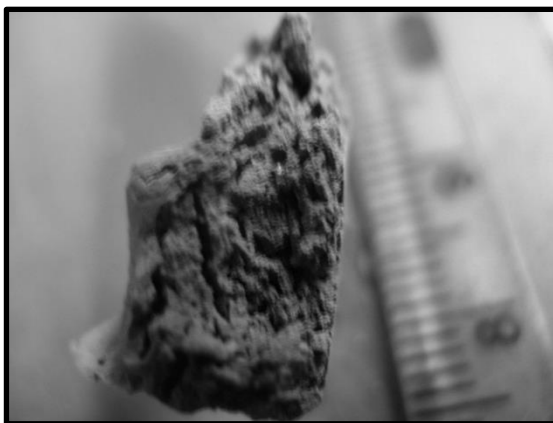
Висушені частини зразків № 2, 3, 9, 11 відображені на рис.2.1. З проведеного експерименту видно, що випаровування вологи викликає утворення пор всередині глин. Найбільшою пористістю володіє чиста глина (без вмісту оксиду заліза і оксиду кальцію). У ній пори мають сферичний характер. Наявність домішок зменшує пористість матеріалу, так як збільшується в'язкість глини. Необхідно відзначити, що домішки також впливають на форму пор. Пори стають витягнуті перпендикулярно лініям дифузії вологи, поділяють матеріал на окремі пласти. Велика кількість домішок веде до утворення тріщин. Це пов'язано з нерівномірністю розподілу домішок за обсягом, отже, створюються різні напруженості всередині матеріалу при пароутворенні. Також домішки збільшують кінцеву міцність матеріалу.



(№2)



(№3)



(№9)

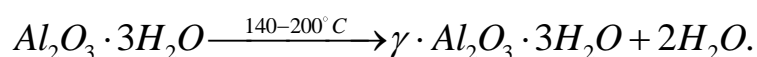


(№11)

Рис. 2.3 - Фотографії висушених частин зразків

2.2 Дослідження вмісту оксиду алюмінію на спучування глин

Імовірно алюміній повинен вступати у взаємозв'язок з гідроксидами і водою, утворюючи при цьому нову хімічну сполуку. Збільшення оксиду алюмінію буде міняти структуру і фізичні властивості глин. Найбільш бажано для процесу спучування, перехід гідраргіліта в беміт, за такою реакції [49]



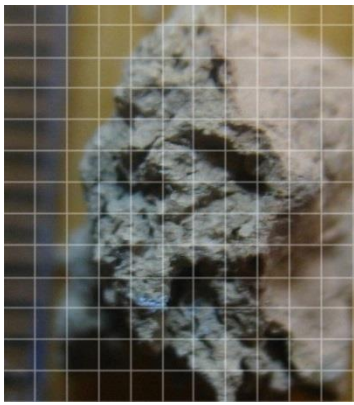
Так як при даній реакції звільняється досить багато води, яку можна перетворити на пару.

Зразки наситились вологою і до них додавалася різна кількість алюмінію і оксиду алюмінію. Температура термообробки дорівнювала $750^\circ C$, час - 8 хвилин. Отримані експериментальні дані занесені в табл. 2.5 і табл.2.6. Вологість і вихід летючих газів визначався за непрямим прискореним методом.

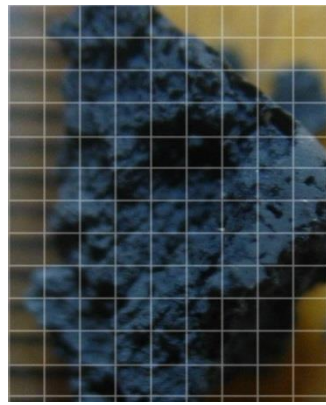
Результати експерименту відображені на рис.2.4. Сітка нанесена для підрахунку пористості. Ціна поділки 1мм.

Спучені зразки мали такі характеристики:

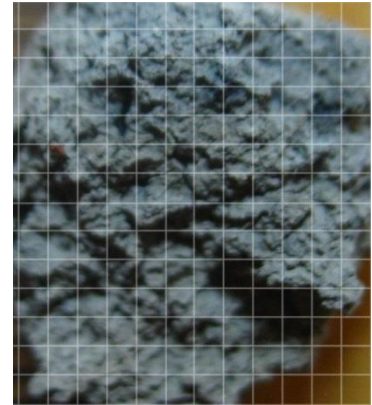
- частина зразка №1 - колір в середині - піщаний, колір кірки - жовтий з оранжевим відтінком, ближче до центру спостерігається поділ на пласти (витягнуті клиноподібні пори), твердіше ніж без добавки алюмінію;



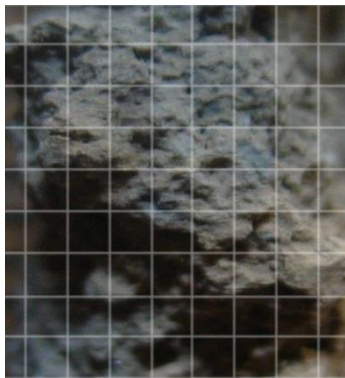
(№1)



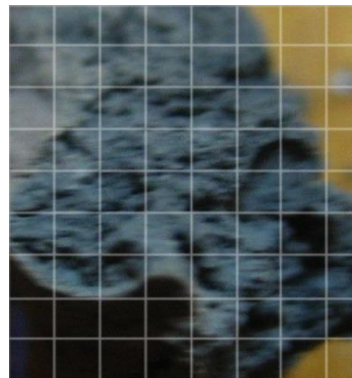
(№2)



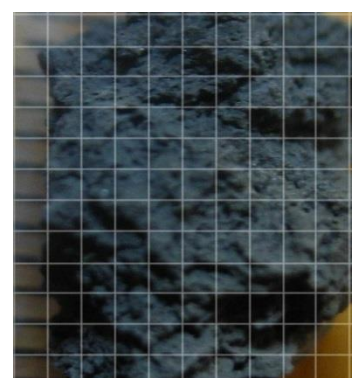
(№3)



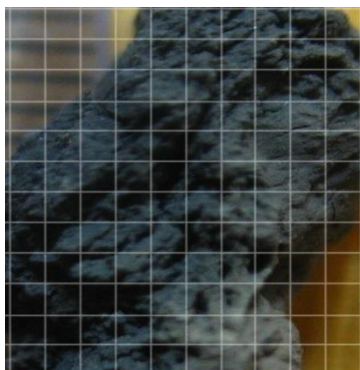
(№4)



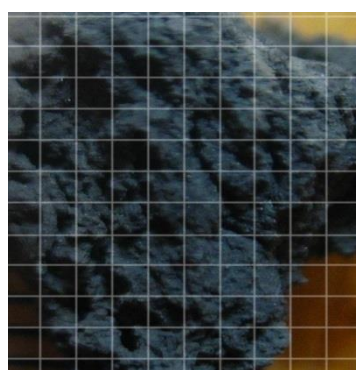
(№5)



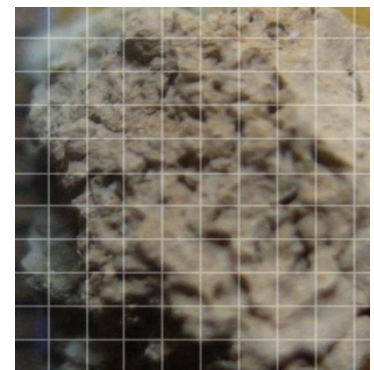
(№6)



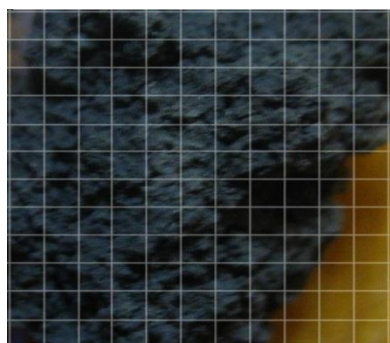
(№7)



(№8)



(№9)



(№10)



(№11)

Рис. 2.4 - Спучені зразки глини з добавкою алюмінію.

- частина зразка №2 - колір - чорний, видно невеликі пори і тріщини, пор зовсім небагато більше ніж при пароутворенні вологою, більш міцний; видно частинки алюмінію, які не реагували з кремнеземом;
- частина зразка №3 - колір - піщаний, більш явно видно пори, є невеликі тріщини, добре простежується внутрішній шар з малою пористістю;
- частина зразка №4 - колір - градієнт від сірого до жовто-помаранчевого, чітко видно пори різних розмірів, більш міцний;
- частина зразка №5 - колір зовні - помаранчевий відтінок, колір всередині - сірий, видна дрібна пористість і поділ на пласти, місцями присутні великі пори;
- частина зразка №6 - колір - чорний, видно невеликі пори і тріщини, міцніший, видно частинки алюмінію, які не реагували з кремнеземом;
- частина зразка №7 - колір зовні - темно жовтий, колір всередині - чорний, чітко видно поділ на пласти, в поверхневому шарі видно невеликі сферичні пори, видно частинки алюмінію, які не реагували з кремнеземом;
- частина зразка №8 - колір зовні - сірий, колір всередині - чорний, чітко видно поділ на пласти, в поверхневому шарі видно невеликі сферичні пори, видно частинки алюмінію, які не реагували з кремнеземом;
- частина зразка №9 - колір - жовто-оранжевий з невеликою ділянкою сірого всередині зразка, добре видно пори і невеликі тріщини;
- частина зразка №10 - колір зовні - сірий, видно невеликі сферичні пори, але переважають вермикулітні пори, видно частинки алюмінію, які не реагували з кремнеземом;
- частина зразка №11 - з'явився місцями відтінок сірого кольору, пори більші, з'явилася яскраво виражена канална пористість. Канальна пористість виникла при зливанні різних пор.

Після проведених експериментів можна зробити висновок, що алюміній в глинах з великою кількістю домішок або великим вмістом чорнозему практично не вступає в реакцію і не впливає на спучування. В глинах з малою кількістю домішок - невеликі добавки алюмінію злегка збільшують характеристики міцності і трохи збільшують пористість. У чистій глині невеликі добавки алюмінію значно збільшують пороутворення. В цілому у всіх зразках добавки алюмінію не впливали на форму пор. У зразках, де алюміній не прореагував, можна спостерігати зародки пор біля частинок алюмінію. У чистій глині все також відсутні вермикулітні пори. Результати експериментів занесені в табл. 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.3 - Вологість і кількість летючих газів в досліджуваних зразках

№ зразка	Вологість W, %	Маса чистого зразка до сушки, г	Маса з Al до сушки, г	Маса з Al після сушки, г	Маса Al, г	Al, %	Vro ₂ +W, %	Vro ₂ , %
1	6,9767	6,1	6,3	4,1	0,2	3,1746	34,921	27,944
2	4,5198	3,5	3,7	2,5	0,2	5,4054	32,432	27,913
3	43,564	5,1	5,2	2,7	0,1	1,9231	48,077	4,5126
4	16,374	6,3	6,5	4,6	0,2	3,0769	29,231	12,857
5	30,667	7,3	7,4	4,7	0,1	1,3514	36,486	5,8198
6	30,657	6,8	6,9	4,5	0,1	1,4493	34,783	4,1257
7	29,808	9,8	9,9	6,6	0,1	1,0101	33,333	3,5256
8	26,816	7,6	7,7	5	0,1	1,2987	35,065	8,2493
9	28,718	5,6	5,8	3,6	0,2	3,4483	37,931	9,2131
10	29,808	6,7	6,8	4,3	0,1	1,4706	36,765	6,957
11	37,5	7	7,2	3,4	0,2	2,7778	52,778	15,278

Таблиця 2.4- Пористість і морозостійкість зразків

№ зразка	Кількість пор на 20 мм ²						Гранична кількість циклів намокання - сушіння	Гранична кількість циклів заморожування відтавання
	вермикулітні			сферичні				
	<1мм	1-3мм	>3мм	<1мм	1-3мм	>3мм		
1	7	1	0	11	0	1	15	17
2	6	1	1	0	0	0	7	9
3	10	1	1	10	1	0	10	11
4	4	0	0	25	3	0	8	9
5	5	1	0	7	1	0	15	13
6	12	1	1	21	0	0	9	8
7	5	4	1	1	0	0	15	14
8	13	3	1	6	0	0	12	13
9	6	1	0	8	2	0	12	13
10	4	2	0	7	0	0	11	11
11	0	0	0	28	4	1	5	3

2.3 Дослідження впливу локальної вологості в матеріалі на його спучування

Для дослідження впливу збільшення локальної вологості були використані різні глини. Зразки наситились 15%, 30% і 50% вологістю. У досліджувані зразки містилася нитка насичена максимальним змістом води, після чого зразки спучує при різних режимах термообробки. Експеримент показав, що як при низькотемпературному режимі термообробки (температурі 130 ° С і часу 8 хвилин) так і при середньотемпературних режимах (температурі 750 ° С і часу 8 хвилин) локальне збільшення вологості не веде до локальної

зміни пористості. Це пов'язано з високою швидкістю дифузії вологи всередині глиноземних матеріалів при їх термічній обробці. Тому волога в матеріалі розташовувалася рівномірно до початку процесу пороутворення. На рис.2.5 видно порожнини, в яких знаходилося капілярно-пористе тіло з водою.

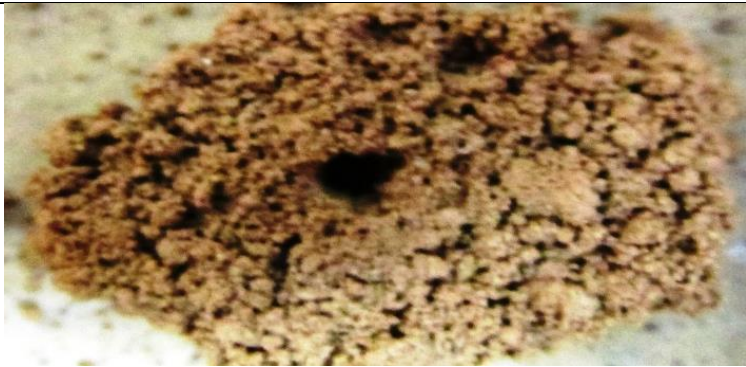


№ зразка	% вологи	Фото зразка
1	3	
2	13	
3	28	

Рис. 2.5 - Фото зразків з локальним вмістом вологи після термообробки

2.4 Визначення впливу пористості на теплопровідність матеріалу

Раніше описувалися численні аналітичні та емпіричні дослідження впливу пористості або щільності засипки на теплопровідність кінцевого матеріалу або шару. Було показано, що всі залежності мають свою область застосування і не придатні для загальних випадків. Деякі залежності зовсім не придатні для розрахунку теплопровідності пористих матеріалів. Тому були проведені експерименти по визначенню теплопровідності різних пористих матеріалів. Досліджувалися зразки спученої глини (зразки № 2, 3, 4), зразок газобетону (зразок № 5) і зразок з пресованого порошку гіпсу (зразок № 1). Зразки спученої глини відрізнялися тільки температурою термообробки. Температура термообробки зразка №2 становила 800 ° С, зразка №3 - 650 ° С, зразка №4 - 750 ° С. Вимірювання теплопровідності вироблялося на ІТ-λ-400. Даний вимірювач призначений для дослідження температурної залежності теплопровідності твердих, механічно оброблених матеріалів в режимі монотонного нагріву, що дозволяє з одного експерименту отримати відразу температурну залежність досліджуваного параметра і забезпечує високу продуктивність. Теоретичне обґрунтування методу викладено в [50].

На рис. 2.8 приведена теплова схема методу вимірювання теплопровідності. Пластина контактна 3, зразок випробуваний 4 і стрижень 5 монотонно розігріваються тепловим потоком, що надходить від підстави 1. Бічні поверхні стрижня 5, зразка 4, пластина 2 і контактна пластина 3 адіабатично ізолювані за допомогою автоматичної підтримки малої різниці температур (близько 0,1 °С) між ними і адіабатичною оболонкою, яка має нагрівальний елемент. Пластина 3 і стрижень 5 виготовлені з міді, що має високу теплопровідність, завдяки чому перепади температур на них незначні. Пластина 2 виготовлена з нержавіючої сталі.

Тепловий потік проходить через середній розріз пластини 2, частково поглинається в ній і за рахунок нього розігрівається пластина 3, дослідний зразок 4, а також стрижень 5.

Параметри системи були обрані таким чином, щоб теплові потоки, які акумулюються дослідним зразком 4 і пластиною 3, були в 5-10 разів менше тих, які поглинаються стрижнем 5.

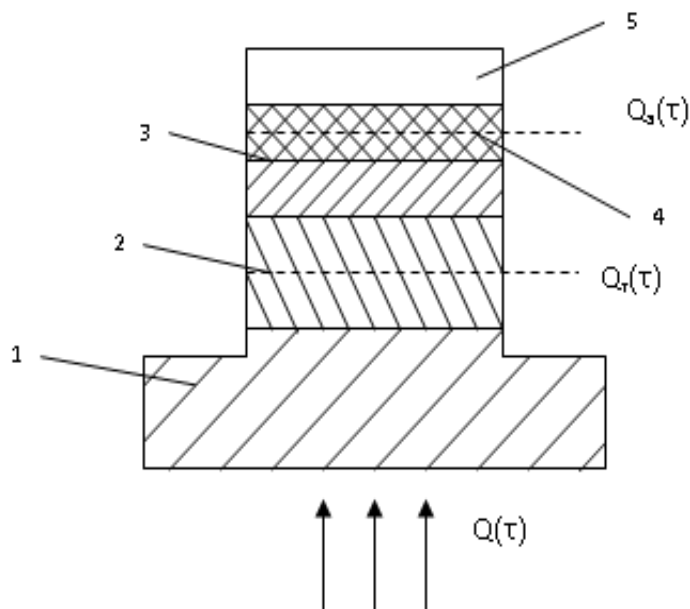


Рисунок 2.6 - Теплова схема методу: 1 - підстава; 2 - пластина; 3 - пластина контактна; 4 - випробуваний зразок; 5 - стрижень.

Робочі розрахункові формули для теплового опору зразка і його теплопровідності наведені нижче [51].

Тепловий опір зразка знаходилося за такою формулою

$$P_0 = \frac{\nu_0 \cdot S \cdot (1 + \sigma_c)}{\nu_T \cdot K_T} - P_k,$$

де K_T - коефіцієнт пропорційності, який характеризується ефективною теплопровідністю пластини (величина постійна для приладу, знаходиться при градуванні), Вт / К,

P_k - тепловий опір контактів (величина постійна для приладу),

σ_c - поправка, яка враховує теплоємність зразка, внесок якої не перевищує 10%,

v_0 - перепад температур на зразку, К,

v_T - перепад температур на пластині, К.

Поправка, що враховує теплоємність зразка, визначалася за такою формулою [52]

$$\sigma_c = \frac{C_0}{C_0 + 2C_c}$$

де C_0 – повна теплоємність зразка, $C_0 = c_0(t) \cdot m_0$

C_c – повна теплоємність стрижня, $C_c = c_m(t) \cdot m_c$

c_0 – наближене значення масової питомої теплоємності зразка, Дж/(кг·К),

c_m – значення масової питомої теплоємності міді, Дж/(кг·К),

m_0 – маса зразка, кг,

m_c – маса стрижня, кг.

Дана формула відрізняється від формули запропонованої [Э.И. Денисова...]. Її вибір обґрунтований тим, що грудуровані коефіцієнти розраховувалися раніше саме поданої формулою.

Теплопровідність зразка визначають за такою формулою

$$\lambda = \frac{h}{P_0},$$

де h – висота зразка, м.

Розраховані значення теплопровідності зразка були віднесені до середньої температури зразка, яка визначається за формулою

$$\bar{t} = t_c + 0,5 \cdot A_t \cdot n_0$$

де \bar{t} - середня температура зразка, °С,

t_c - температура при якій проводились виміри, °С

A_t - чутливість термопары ХА, К/мВ

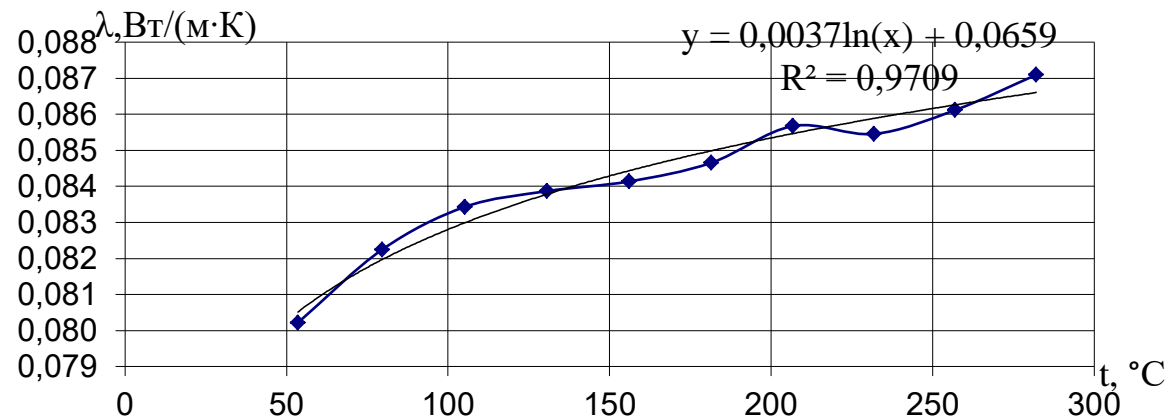
n_0 - перепад температури на зразку, мВ.

Результати експериментів і розрахунків занесені в таблиці 2.6 - 2.10. Графічно результати експерименту з апроксимаційними залежностями відображені на рис. 2.9 - 2.13. Зі збільшенням температури від 50 °С до 275 °С теплопровідність пористих матеріалів збільшується. При цьому, теплопровідність чистого Al₂O₃ з ростом температури (в даному діапазоні) повинна зменшуватися. Це підтверджує можливість регулювання залежності теплопровідність-температура шляхом збільшення вмісту Al₂O₃. Але ґрунтуючись на попередніх експериментах можна стверджувати, що збільшення вмісту Al₂O₃ в глиноземах буде виправдано тільки при мінімумі домішок.

Для всіх досліджуваних зразків характерно, що залежності теплопровідності від температури можна описати лінійними або логарифмічними залежностями (коефіцієнт детермінації не відрізняється більш ніж на 5%). Для зразків 1, 2 і 5 більш точно описує логарифмічна залежність.

Таблиця 2.6 - Розрахунок зміни теплопровідності зразка №1 від температури

$t_c,$ C	$no,$ дел	$nt,$ дел	$Km,$ Вт/К	P_k	P_o	$C_m,$ Дж/К	$C_o,$ Дж/К	$C_c,$ Дж/К	σ_c	At	$t,$ C	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	289,00	48,00	0,1337	0,000498	0,074	392,00	1,458	0,060	0,923	24,50	53,540	0,0802
75	379,00	62,00	0,1391	0,000500	0,072	396,00	1,458	0,061	0,923	24,50	79,643	0,0822
100	426,00	70,00	0,1404	0,000504	0,071	400,00	1,458	0,062	0,922	24,60	105,240	0,0834
125	456,00	76,00	0,1391	0,000505	0,070	403,00	1,458	0,062	0,921	24,70	130,632	0,0839
150	487,00	82,00	0,1381	0,000506	0,070	405,00	1,458	0,062	0,921	24,80	156,039	0,0841
175	521,00	86,00	0,1417	0,000506	0,070	407,00	1,458	0,063	0,921	24,80	181,460	0,0847
200	545,00	92,00	0,1402	0,000510	0,069	408,00	1,458	0,063	0,921	24,90	206,785	0,0857
225	554,00	94,00	0,1391	0,000512	0,069	410,00	1,458	0,063	0,920	25,00	231,925	0,0855
250	561,00	95,00	0,1404	0,000523	0,069	412,00	1,458	0,063	0,920	25,00	257,013	0,0861
275	569,00	97,00	0,1410	0,000523	0,068	415,00	1,458	0,064	0,919	25,10	282,141	0,0871



Рисунк 2.9 – Залежність теплопровідності зразка №1 від температури

Таблиця 2.7 - Розрахунок зміни теплопровідності зразка №2 від температури

$t_c,$ C	$no,$ дел	$nt,$ дел	$Km,$ Вт/К	P_k	P_o	$C_m,$ Дж/К	$C_o,$ Дж/К	$C_c,$ Дж/К	σ_c	At	t, C	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	347,00	34,00	0,1337	0,000498	0,103	392,00	1,247	0,060	0,912	24,50	54,251	0,0673
75	458,00	45,00	0,1391	0,000500	0,098	396,00	1,247	0,061	0,911	24,50	80,611	0,0702
100	515,00	52,00	0,1404	0,000504	0,095	400,00	1,247	0,062	0,910	24,60	106,335	0,0729
125	564,00	59,00	0,1391	0,000505	0,092	403,00	1,247	0,062	0,909	24,70	131,965	0,0748
150	605,00	65,00	0,1381	0,000506	0,090	405,00	1,247	0,062	0,909	24,80	157,502	0,0763
175	642,00	70,00	0,1417	0,000506	0,087	406,00	1,247	0,063	0,909	24,80	182,961	0,0795
200	671,00	75,00	0,1402	0,000510	0,086	408,00	1,247	0,063	0,908	24,90	208,354	0,0807
225	691,00	77,00	0,1391	0,000512	0,086	410,00	1,247	0,063	0,908	25,00	233,638	0,0798
250	702,00	80,00	0,1404	0,000523	0,084	412,00	1,247	0,063	0,908	25,00	258,775	0,0824
275	715,00	84,00	0,1410	0,000523	0,081	415,00	1,247	0,064	0,907	25,10	283,973	0,0854

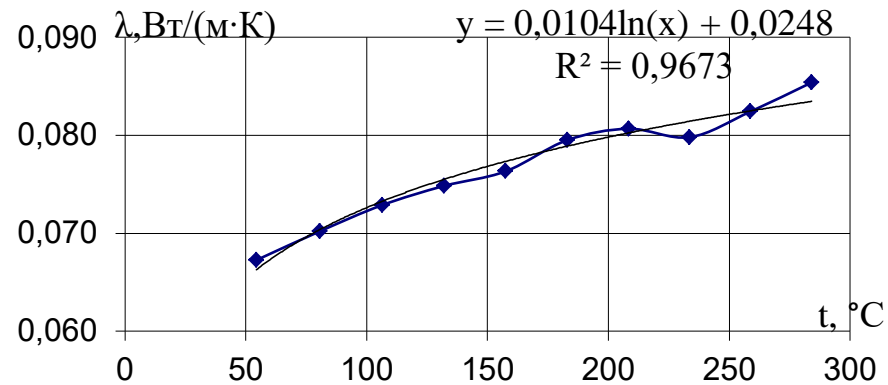
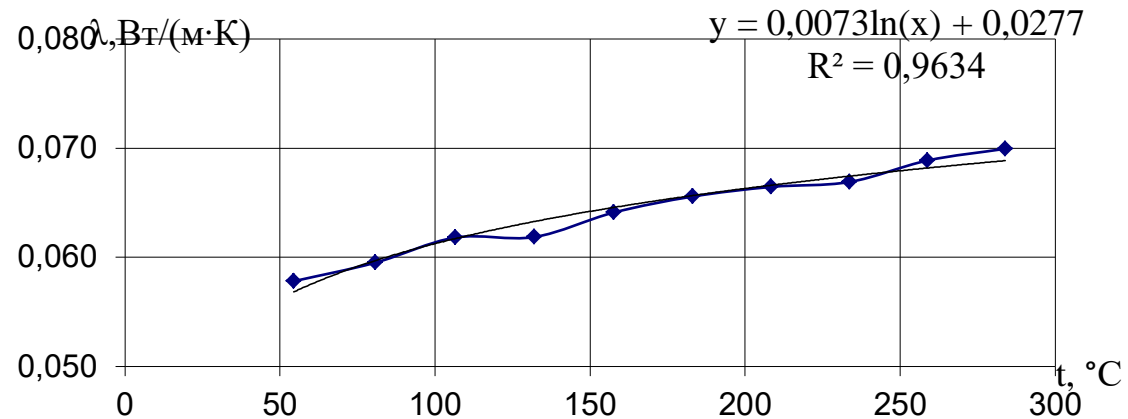


Рисунок 2.10 – Залежність теплопровідності зразка №2 від температури

Таблиця 2.8 - Розрахунок зміни теплопровідності зразка №3 від температури

$t_c,$ C	$no,$ дел	$nt,$ дел	$Km,$ Вт/К	P_k	P_o	$C_m,$ Дж/К	$C_o,$ Дж/К	$C_c,$ Дж/К	σ_c	At	$t,$ C	$\lambda,$ Вт/(м·К)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	356,00	36,00	0,1337	0,000498	0,104	392,00	1,629	0,060	0,931	24,50	54,361	0,0578
75	460,00	46,00	0,1391	0,000500	0,101	396,00	1,629	0,061	0,930	24,50	80,635	0,0595
100	525,00	54,00	0,1404	0,000504	0,097	400,00	1,629	0,062	0,930	24,60	106,458	0,0618
125	568,00	59,00	0,1391	0,000505	0,097	403,00	1,629	0,062	0,929	24,70	132,015	0,0619
150	609,00	66,00	0,1381	0,000506	0,094	405,00	1,629	0,062	0,929	24,80	157,552	0,0641
175	648,00	70,00	0,1417	0,000506	0,092	406,00	1,629	0,063	0,929	24,80	183,035	0,0656
200	678,00	75,00	0,1402	0,000510	0,090	408,00	1,629	0,063	0,928	24,90	208,441	0,0665
225	695,00	78,00	0,1391	0,000512	0,090	410,00	1,629	0,063	0,928	25,00	233,688	0,0669
250	708,00	81,00	0,1404	0,000523	0,087	412,00	1,629	0,063	0,928	25,00	258,850	0,0689
275	709,00	82,00	0,1410	0,000523	0,086	415,00	1,629	0,064	0,927	25,10	283,898	0,0699



Рисунк 2.11 – Залежність теплопровідності зразка №3 від температури

Таблиця 2.9 - Розрахунок зміни теплопровідності зразка №4 від температури

$t_c,$ C	$no,$ дел	$nt,$ дел	$Km,$ Вт/К	P_k	P_o	$C_m,$ Дж/К	$C_o,$ Дж/К	$C_c,$ Дж/К	σ_c	At	$t,$ C	$\lambda,$ Вт/(м·К)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	311,00	24,00	0,1337	0,000498	0,130	392,00	1,188	0,060	0,908	24,50	53,810	0,0470
75	428,00	34,00	0,1391	0,000500	0,121	396,00	1,188	0,061	0,907	24,50	80,243	0,0503
100	487,00	40,00	0,1404	0,000504	0,116	400,00	1,188	0,062	0,906	24,60	105,990	0,0526
125	545,00	47,00	0,1391	0,000505	0,112	403,00	1,188	0,062	0,905	24,70	131,731	0,0547
150	609,00	55,00	0,1381	0,000506	0,107	405,00	1,188	0,062	0,905	24,80	157,552	0,0569
175	640,00	60,00	0,1417	0,000506	0,101	406,00	1,188	0,063	0,905	24,80	182,936	0,0606
200	710,00	68,00	0,1402	0,000510	0,100	408,00	1,188	0,063	0,904	24,90	208,840	0,0613
225	744,00	74,00	0,1391	0,000512	0,097	410,00	1,188	0,063	0,904	25,00	234,300	0,0632
250	760,00	77,00	0,1404	0,000523	0,094	412,00	1,188	0,063	0,903	25,00	259,500	0,0650
275	820,00	84,00	0,1410	0,000523	0,093	415,00	1,188	0,064	0,903	25,10	285,291	0,0660

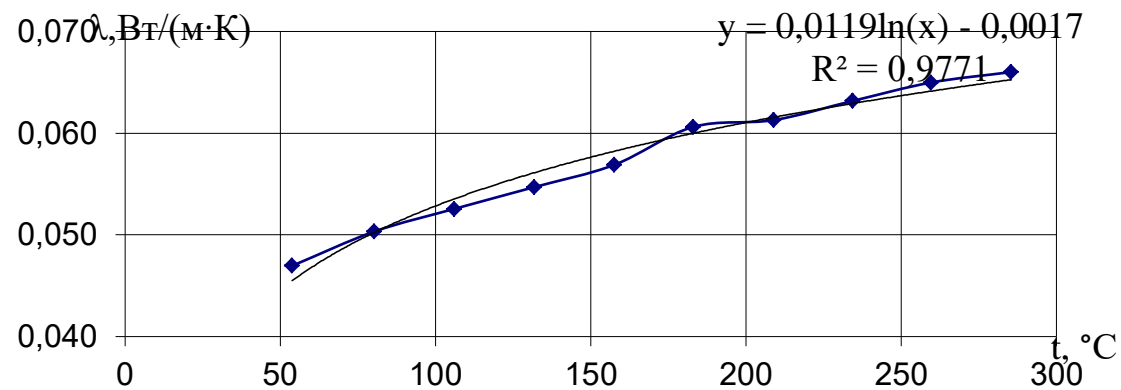


Рисунок 2.12 – Залежність теплопровідності зразка №4 від температури

Таблиця 2.10 - Розрахунок зміни теплопровідності зразка №5 від температури

$t_c,$ C	$no,$ дел	$nt,$ дел	$Km,$ Вт/К	P_k	P_o	$C_m,$ Дж/К	$C_o,$ Дж/К	$C_c,$ Дж/К	σ_c	At	$t,$ C	$\lambda,$ Вт/(м·К)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	327,00	42,00	0,1337	0,000498	0,073	392,00	1,197	0,060	0,908	24,50	54,006	0,0686
75	429,00	54,00	0,1391	0,000500	0,071	396,00	1,197	0,061	0,907	24,50	80,255	0,0700
100	490,00	62,00	0,1404	0,000504	0,070	400,00	1,197	0,062	0,907	24,60	106,027	0,0711
125	513,00	66,00	0,1391	0,000505	0,070	403,00	1,197	0,062	0,906	24,70	131,336	0,0716
150	558,00	73,00	0,1381	0,000506	0,069	405,00	1,197	0,062	0,906	24,80	156,919	0,0723
175	598,00	77,00	0,1417	0,000506	0,068	406,00	1,197	0,063	0,905	24,80	182,415	0,0731
200	620,00	82,00	0,1402	0,000510	0,067	408,00	1,197	0,063	0,905	24,90	207,719	0,0743
225	635,00	84,00	0,1391	0,000512	0,068	410,00	1,197	0,063	0,905	25,00	232,938	0,0737
250	640,00	85,00	0,1404	0,000523	0,067	412,00	1,197	0,063	0,904	25,00	258,000	0,0747
275	642,00	85,00	0,1410	0,000523	0,067	415,00	1,197	0,064	0,903	25,10	283,057	0,0749

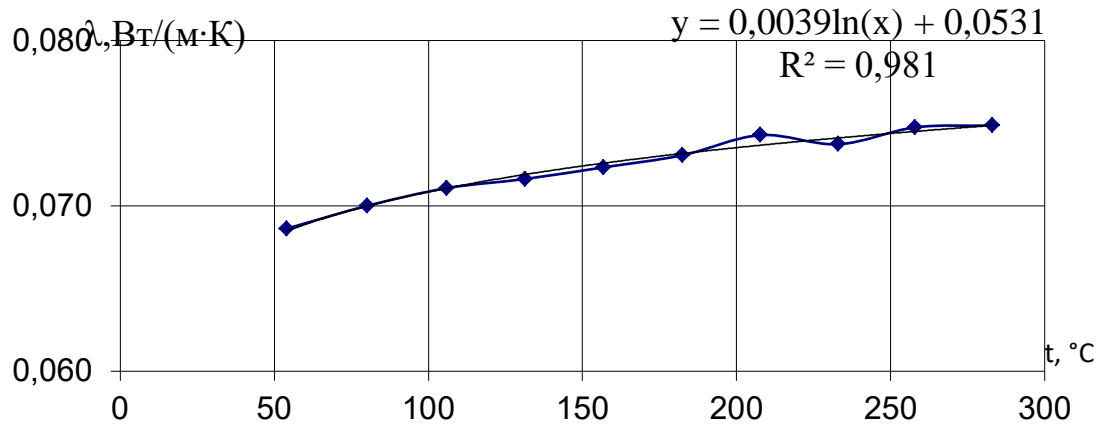


Рисунок 2.13 – Залежність теплопровідності зразка №5 від температури

На рис. 2.15 відображені залежності теплопровідності всіх п'яти зразків від температури. З даного графіка можна зробити висновок, що характер зміни теплопровідності у всіх зразків однаковий, але у газобетону залежність має більш пологий характер, тобто мінімально залежить від температури.

Залежність температури спучування глини на теплопровідність носить неоднозначний характер. Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури для пористих матеріалів носить логарифмічний характер.

Мінімальна теплопровідність була досягнута при температурі 750 ° С. При цьому під час термообробки 650 ° С теплопровідність матеріалу незначно вища, а при 800 ° С - вища практично в два рази. Це пояснюється рівномірністю розподілу пор і їх однаковими розмірами при термообробці 750 ° С. Так при термообробці 650 ° С - пори менш рівномірні і менші за об'ємом (зразок менш пористий). При 800 ° С - спостерігається значне збільшення деяких пор, але при цьому зникають більш дрібні пори і хоча загальна пористість матеріалу більше ніж при термообробці 750 ° С, але пористість є нерівномірною. Також при 750 ° С і 800 ° С відбуватиметься протікання різних хімічних реакцій, що незначно також вплинуло на результати.

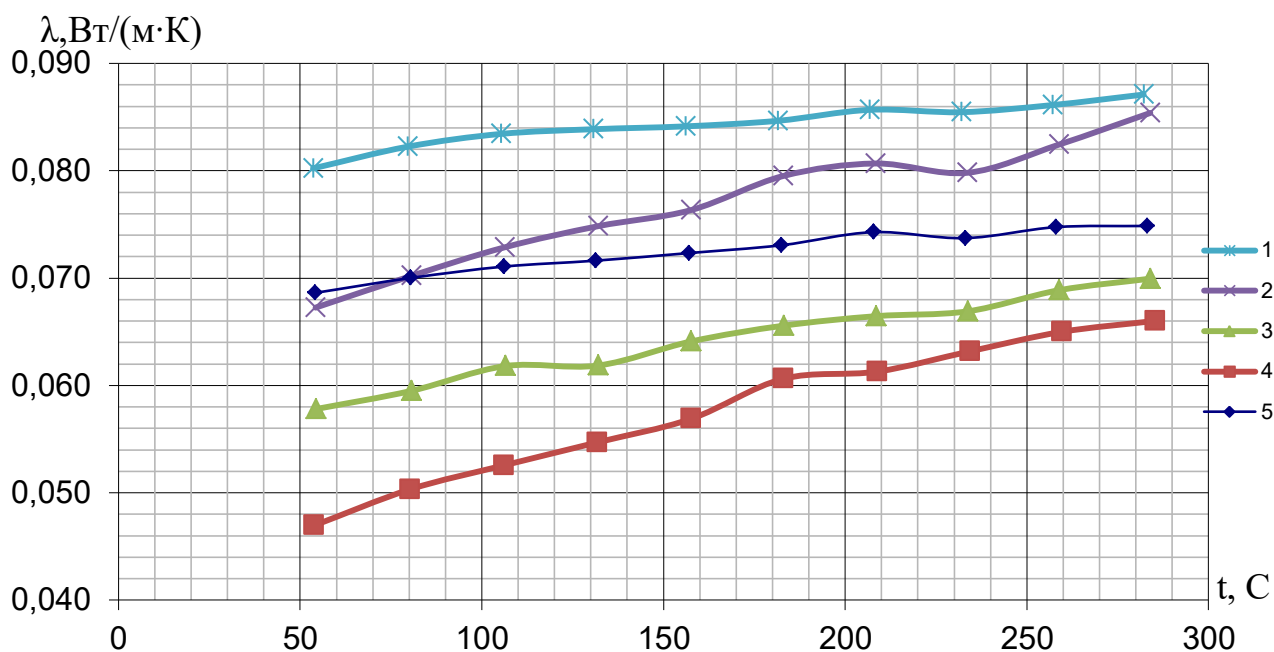
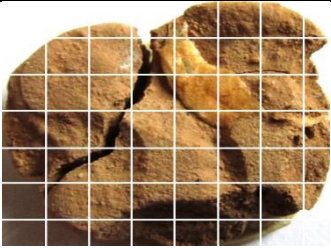
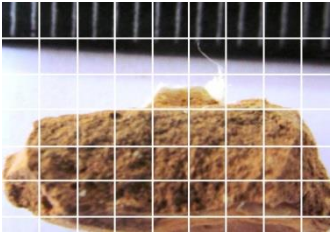
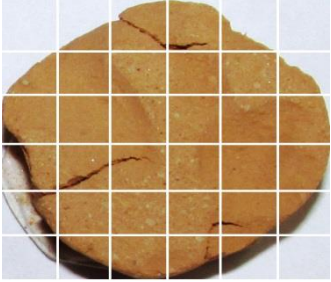
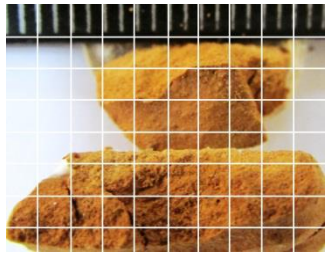
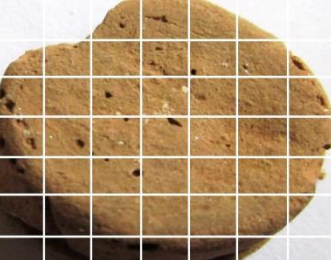

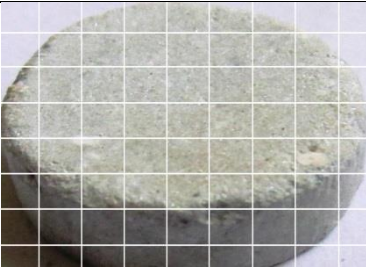
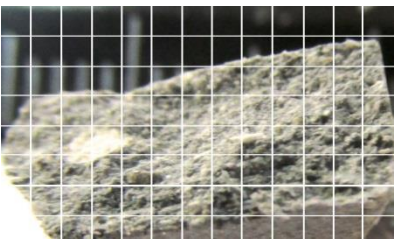
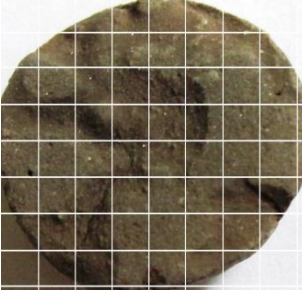



Рисунок 2.15 - Залежність теплопровідності зразків від температури

Таблиця 2.11 – Результати дослідження коефіцієнтів теплопровідності зразків

№ зразка	Фото зразка	Фото перетину зразка	Коефіцієнт теплопровідності зразка λ (Вт/м*К)
1			$0,0801 \cdot e^{0,003x}$ $\lambda_{cp} = 0,0840$ (0,0802 - 0,0871)
2			$0,0653 \cdot e^{0,001x}$ $\lambda_{cp} = 0,0755$ (0,0673 - 0,0857)
3			$0,056 \cdot e^{0,0008x}$ $\lambda_{cp} = 0,0635$ (0,0578 - 0,0699)
4			$0,0448 \cdot e^{0,0015x}$ $\lambda_{cp} = 0,0555$ (0,0673-0,0854)
5			$2 \cdot 10^{-2} - 0,6 \cdot e^{254,02x}$ $\lambda_{cp} = 0,0720$ (0,0686 - 0,0749)

Можна зробити висновок, що рівномірність пористості значно впливає на теплопровідність пористих будівельних матеріалів.

2.5 Створення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів

Гідросилікат – матеріал, що відрізняється легкістю, практичністю і екологічністю. До позитивних якостей варто віднести високий рівень тепло — і звукоізоляції. Його використання дозволяє скоротити фінансові витрати, мінімізує навантаження на перекриття з бетону і підвищує рівень теплопровідності.

Таблиця 2.12 - Показники якості сировини гідросилікату

Показник	Величина показника
Відносна вологість, %, не більше	55
Середня густина, кг/м ³ , не менше	1650
Вміст оксиду кремнію, %	46
Вміст оксиду алюмінію, %	12
Вміст оксиду заліза, %, не більше	6
Вміст оксиду кальція, %, не більше	12

Фотографія гідросилікату, що було виготовлено в лабораторних умовах з заданої сировини, зображено на рис. 2.16.



Рисунок 2.16 – Фотографія готової продукції гідросилікату з властивостями по таблиці 2.11

Виготовлення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів проходило наступним чином. У підготовлену ємність – металеву каркас, засипаємо спучені гранули гідросилікату. Заливаємо водою у такій кількості, що вона ледве покривала поверхню засипаних гранул. За рахунок пористої структури гідросилікату вода всмоктується всередину. Помішуючи суміш додаємо цемент та пісок у співвідношенні 1:3. Отримаємо формовочну масу, що представлена на рисунку 2.17.



Рисунок 2.17 – Фотографія формованої маси блоку

Для вимірювання коефіцієнта теплопровідності отриманого гідросилікатного блоку використовувався вимірювач теплопровідності ИТП-МГ4 фірми «СКБ Стройприбор». Теплопровідність визначається за допомогою зонду протягом певного інтервалу часу та залежить від швидкості охолодження зонду та оточуючої температури.



Рисунок 2.17 – Фотографія теплоізоляційного блоку на основі гідросилікатів

2.6 Визначення швидкості та енергії активації поро – утворення

До теперішнього моменту в літературі були відсутні дані про швидкість поро утворення і про енергію яка затрачується на утворення пористої структури. Відсутність цих даних не дозволяли аналітично розрахувати оптимальний час і температуру спучування гідросилікатів.

Експеримент проходив таким чином. У пронумеровану суху керамічну тару насипали вологу вихідну суміш, після чого піддавали суміш термообробці у муфельній печі при різних температурних режимах для виявлення енергії активації поро утворення при паро утворенні і при утворенні пор за рахунок утворилися газів. Температура в першому випадку обрана 150 - 200 °С, у другому 700 - 750 °С. У кожному випадку один зразок піддається сушінню при кімнатній температурі (без утворення парів) і його пористість приймається за початкову. Також по одному зразку відбирається з печі через 3, 5, 10, 15 і 20 хвилин після початку термообробки. Константа швидкості поро утворення і константа росту пористості перебувала для кожного моменту часу, а після знаходилися їх середнє значення.

Константа зростання пористості визначається за формулою

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\Pi_{\tau=20} - \Pi_{\tau=0}}{\Pi_{\tau=20} - \Pi_{\tau}}$$

Константа зростання пористості при 150 – 200 °С

$$k_{1(150^{\circ})} = \frac{1}{5} \ln \frac{68 - 7}{68 - 18} = 0,0398 ,$$

$$k_{1(150^{\circ})} = \frac{1}{10} \ln \frac{68 - 7}{68 - 27} = 0,0397 ,$$

$$k_{1(150^{\circ})} = \frac{1}{15} \ln \frac{68 - 7}{68 - 42} = 0,0569 ,$$

$$k_{1(200^\circ)} = \frac{1}{5} \ln \frac{74 - 7}{74 - 27} = 0,0709 ,$$

$$k_{1(200^\circ)} = \frac{1}{10} \ln \frac{74 - 7}{74 - 31} = 0,0443 ,$$

$$k_{1(200^\circ)} = \frac{1}{15} \ln \frac{74 - 7}{74 - 48} = 0,0631 .$$

Константа зростання пористості при 700 - 750°C

$$k_{1(700^\circ)} = \frac{1}{5} \ln \frac{87 - 7}{87 - 65} = 0,6567 ,$$

$$k_{1(700^\circ)} = \frac{1}{10} \ln \frac{87 - 7}{87 - 74} = 0,1817 ,$$

$$k_{1(700^\circ)} = \frac{1}{15} \ln \frac{87 - 7}{87 - 79} = 0,1535 ,$$

$$k_{1(750^\circ)} = \frac{1}{5} \ln \frac{90 - 7}{90 - 75} = 0,3422 ,$$

$$k_{1(750^\circ)} = \frac{1}{10} \ln \frac{90 - 7}{90 - 80} = 0,2116 ,$$

$$k_{1(750^\circ)} = \frac{1}{15} \ln \frac{90 - 7}{90 - 85} = 0,1873$$

де Π_τ - пористість матеріалу в різні моменти часу,

τ - час відбору зразка з печі.

Константа швидкості поро утворення визначається за формулою

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{b_{\tau=20} - b_{\tau=0}}{b_{\tau=20} - b_\tau} ,$$

Константа швидкості поро утворення при 150 - 200°C

$$k_{2(150^\circ)} = \frac{1}{5} \ln \frac{17 - 9}{17 - 10} = 0,0267 ,$$

$$k_{2(150^\circ)} = \frac{1}{10} \ln \frac{17 - 9}{17 - 12} = 0,0470 ,$$

$$k_{2(150^\circ)} = \frac{1}{15} \ln \frac{17-9}{17-13} = 0,0462 ,$$

$$k_{2(200^\circ)} = \frac{1}{5} \ln \frac{19-9}{19-12} = 0,0713 ,$$

$$k_{2(200^\circ)} = \frac{1}{10} \ln \frac{19-9}{19-14} = 0,0693 ,$$

$$k_{2(200^\circ)} = \frac{1}{15} \ln \frac{19-9}{19-15} = 0,0611 .$$

Константа швидкості поро утворення при 700 - 750°C

$$k_{2(700^\circ)} = \frac{1}{5} \ln \frac{18-9}{18-12} = 0,0811 ,$$

$$k_{2(700^\circ)} = \frac{1}{10} \ln \frac{18-9}{18-15} = 0,1099 ,$$

$$k_{2(700^\circ)} = \frac{1}{15} \ln \frac{18-9}{18-16} = 0,1003$$

$$k_{2(750^\circ)} = \frac{1}{5} \ln \frac{24-9}{24-16} = 0,1257 ,$$

$$k_{2(750^\circ)} = \frac{1}{10} \ln \frac{24-9}{24-20} = 0,1322 ,$$

$$k_{2(750^\circ)} = \frac{1}{15} \ln \frac{24-9}{24-22} = 0,1343$$

де b_τ - кількість пор на одиниці площі в матеріалі в різні моменти часу,

τ - час відбору зразка з печі.

Визначення енергії активації при двох температурах T_1 и T_2 , Дж/моль

$$E_a = \frac{R \cdot \ln \left(\frac{k_{r2}}{k_{r1}} \right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}},$$

$$E_{a_1} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,0709}{0,0398}\right)}{\frac{1}{150} - \frac{1}{200}} = 4448,552,$$

$$E_{a_1} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,0443}{0,0397}\right)}{\frac{1}{150} - \frac{1}{200}} = 2411,868,$$

$$E_{a_1} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,0631}{0,0569}\right)}{\frac{1}{150} - \frac{1}{200}} = 1575,808,$$

$$E_{a_1} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,3422}{0,6567}\right)}{\frac{1}{700} - \frac{1}{750}} = 3566,974,$$

$$E_{a_1} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,2116}{0,1817}\right)}{\frac{1}{700} - \frac{1}{750}} = 3541,698,$$

$$E_{a_1} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,1873}{0,1535}\right)}{\frac{1}{700} - \frac{1}{750}} = 2465,474,$$

$$E_{a_2} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,0713}{0,0267}\right)}{\frac{1}{150} - \frac{1}{200}} = 1762,072,$$

$$E_{a_2} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,0693}{0,0470}\right)}{\frac{1}{150} - \frac{1}{200}} = 1346,999,$$

$$E_{a_2} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,0611}{0,0462}\right)}{\frac{1}{150} - \frac{1}{200}} = 1229,015,$$

$$E_{a2} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,1257}{0,0811}\right)}{\frac{1}{700} - \frac{1}{750}} = 1284,312,$$

$$E_{a2} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,1322}{0,1099}\right)}{\frac{1}{700} - \frac{1}{750}} = 1043,798,$$

$$E_{a2} = \frac{8,31 \cdot \ln\left(\frac{0,1343}{0,1003}\right)}{\frac{1}{700} - \frac{1}{750}} = 1785,878.$$

де k_1 і k_2 - константи швидкості при температурах T_1 і T_2 відповідно;

R - універсальна газова стала.

Аналізуючи результати розрахунків бачимо що константа зростання пористості при температурі 700 – 750 °С значно вища чим константа зростання пористості при температурі 150-200 °С, що узгоджується з молекулярною кінетичною теорією поро-утворення.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

При досліджуванні залежності теплофізичних характеристик матеріалу що спучується, від параметрів теплової обробки використовувався персональний комп'ютер та випробуваний стенд у лабораторії.

Приміщення, використовуване під лабораторію, знаходиться на 1 поверсі 3-х поверхового будинку. Дане приміщення, виходячи з норм на окремі робочі місця, відповідає нормам. Норма площі на одну людину становить 6 м². Площа приміщення становить 30,76 м². Кількість працівників в лабораторії становить дві особи, таким чином норма площі не перевищується.

3.1 Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих факторів виробництва

Умови праці на лабораторному місці, безпека технологічних лабораторних процесів, механізмів, устаткування та інших засобів лабораторії, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам.

Умови в лабораторії нерідко характеризуються дією на працюючих несприятливого мікроклімату, запиленої, високої бактерійної і грибкової забрудненості повітря робочої зони. У ряді випадків трудовий процес протікає в умовах низького освітлення.

Зробимо аналіз і оцінку чинників професійних ризиків в лабораторії. Оскільки в лабораторії використовуються теплоенергетичні установки, то на організм людини впливають ряд специфічних цій області несприятливих чинників, таких як:

- 1) Підвищена температура;
- 2) Підвищений рівень шуму;
- 3) Недостатня освітленість.

3.1.1 Підвищена температура

Підвищена температура зовнішнього середовища, виникає в результаті одночасної роботи обчислювальної техніки і освітлювальних установок, які значну частину споживаної електроенергії перетворюють в теплову. Дія цього чинника на організм людини призводить до зайвих витрат енергії на нормалізацію теплового балансу, слідством чого являється відчуття дискомфорту і зниження працездатності. Влітку 34°C, і 25°C зимою.

У лабораторії є поверхні, що мають високу температуру на приклад (вимірник теплопровідності IT- λ -400). При роботі з ним є можливість отримати опіки оскільки апарат працює на високих температурних режимах.

Усі ділянки елементів (вимірник теплопровідності IT- -400), доступні для персоналу, покриті тепловою ізоляцією, що забезпечує температуру зовнішньої поверхні не більше 45 °С, Персонал у свою чергу зобов'язаний працювати в спецодязе, и засобах індивідуального захисту. Рукави і полу спецодязу слід застібнути на усі гудзики, волосся прибрати.

3.1.2 Підвищений рівень шуму

Підвищений рівень шуму, джерелами якого є друкувальні пристрої і установки кондиціонування. Дія шуму на організм людини призводить до зниження гостроти зору, зорової адаптації, порушує сприйняття зорової інформації і знижує продуктивність праці на 30-60%. Фактичний сумарний рівень шуму в цій лабораторії складає 55 дБ, оскільки в приміщенні працюють 9 машин (8 ПЕВМ і 1 принтер).

Згідно [36] необхідно забезпечити рівень шуму (звукового тиску) в межах 50-55 дБА.

У лабораторії використовуються наступні заходи захисту від шуму:

- а) застосовуються пружні прокладки між підставою машини і поверхнею опори;
- б) застосовується звукобірна облицювання, глушники.

3.1.3 Недостатня освітленість

Відсутність або нестача природного світла, причиною якого можуть стати наступні джерела: площа і орієнтація вікон, міра чистоти скла вікон, забарвлення стін і підлоги приміщення. Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працюючих. Крім того, природне освітлення має і психологічну дію, створюючи для працюючих відчуття безпосереднього зв'язку з оточенням. Коефіцієнт природного освітлення в лабораторії складає 2.1%.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань, джерелами якого є електронно-променеві трубки моніторів ЕОМ. Дія цього чинника на організм людини призводить до захворювань нервової системи, раку. При частоті 5 Гц - 2 кГц значення складає менше 25 В/м.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

У практиці роботи з організацію в лабораторії праці важливою складовою є поліпшення умов праці. Важливе значення поліпшення умов праці пояснюється лише тим, що вони в основному є виробничою середою, у якій протікає життєдіяльність людини в час праці. Від його стану у прямій залежності перебуває рівень працездатності людини, результати його роботи, стан здоров'я, ставлення до праці. Поліпшення умов праці серйозно впливає для підвищення його продуктивності.

При підвищеній температурі в приміщенні використати систему вентиляції і кондиціонування, так само використати природну систему вентиляції. Використати засоби індивідуального захисту, рукавички, костюми.

При підвищені рівня шуму, використати навушники. Зниження шуму звукопоглинанням та звукоізоляцією. Об'єкт, котрий випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки якого покриваються звукопоглинальним матеріалом. Кожух повинен мати достатню звукопоглинальну здатність, не заважати обслуговуванню обладнання під час роботи. Звукоізоляційний ефект забезпечується також встановленням екранів та ковпаків. Вони захищають робоче місце і людину від безпосереднього впливу прямого звуку, однак не знижують шум в приміщенні.

При недостатньому освітленні використати, додаткові освітлювальні прилади. Відсутність або нестача природного світла, причиною якого можуть стати наступні джерела: площа і орієнтація вікон, міра чистоти скла вікон, забарвлення стін і підлоги приміщення. Природне освітлення має важливе фізіологічне - гігієнічне значення для працюючих. Крім того, природне освітлення має і психологічну дію, створюючи для працюючих відчуття безпосереднього зв'язку з оточенням. Коефіцієнт природного освітлення в лабораторії складає 2.1%.

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення. Відомо, що максимальної контрастної чутливості (здатність очі розрізнити яскравість забарвленою поверхні) забезпечується яскравістю фону не більше 100 – 3200 кд/кв.м. За межами цих величин вона знижується.

3.3 Виробнича санітарія

В лабораторії повинні виконуватися відповідно до вимог проектування. Лабораторна територія повинна забезпечуватися належними умовами природного освітлення, водопостачання, а також провітрюватись.

Приміщення, в яких лабораторні процеси, пов'язані з виділенням шкідливих газів, парів, пилу та інших негативних виробничих факторів, розташовуються стосовно інших будинків і населених пунктів з підвітряної сторони для вітрів переважного напрямку, територія повинна бути упоряджена.

Приміщення повинне бути обладнана водопроводом і каналізацією, мати тверді покриття, знаки безпеки руху.

Оздоровчі пункти для надання першої допомоги потерпілим в лабораторії, а також для проведення лікувальної і санітарно-профілактичної роботи.

Коли потрібні допоміжні приміщення, то вони повинні розташовуватись в прибудовах виробничих будинків чи в окремих будинках.

Роботи виконуються операторами ЕОМ належать до категорії Ia - легкі роботи (до 120 ккал/год) згідно [28], так як вони не пов'язані з перенесенням ваги .

Значення мікрокліматичних параметрів, що забезпечують комфортні умови працівникам даної категорії , згідно [28].

Таблиця 3.1.- Оптимальні параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Температура поверхонь, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с
Холодний	1a (< 139)	23-25	22-26	40-60	0,1
Теплий	1a (175-232)	20-22	19-23	40-60	0,2

Для забезпечення встановлених норм мікрокліматичних параметрів і чистоти повітря використовується кондиціонер. У приміщенні забезпечується приплив свіжого повітря, кількість якого складає 50-60 м³ на одну людину.

Для забезпечення цих умов передбачена подача в лабораторію повітря двоступеневого очищення в системі кондиціонування.

Для попереднього очищення використовуються фільтри другого і третього класів (типу ФСВУ, ФППУ), а для остаточного очищення - фільтри тонкого очищення першого і другого класів (типу ФПП, ФЯП).

Для підтримки настановних параметрів мікроклімату в досліджуваному приміщенні цілком досить 1 -го кондиціонера типу Tadiran TNL S 9 H.

Для захисту працюючих від впливу електромагнітного випромінювання на комп'ютерах встановлено захисний екран, який включає прозорий проводить шар з питомим опором менш 0,01-0,001 Ом/м, що дозволяє знизити рівень напруженості до 5 В/м відповідно до ГОСТ 12.1.045-84.

Згідно з [37], зорова робота оператора ПЕОМ є роботою високої точності: найменший розмір об'єкта розрізнення 0,3-0,5 мм, розряд зорової роботи - III, подразряд - В.

Планування робочого місця задовольняє вимогам [38] та ДНАОП 0.00-1.31-99 зручності виконання робіт та економії енергії і часу оператора, раціонального використання виробничих площ і зручності обслуговування пристроїв ЕОМ.

Розміри столу: висота - 725 мм, ширина - 600 мм, глибина - 800 мм. Робочий стіл має місце для ніг висотою 600 мм, шириною - 500 мм, глибиною на рівні колін - 450 мм, а на рівні витягнутих ніг - 650 мм. Робочий стіл оснащений підставкою для ніг шириною 300 мм, глибиною - 400 мм, з можливістю регулювання висоти в межах 150 мм, та кута нахилу опорної поверхні - в межах 20 °. Підставка має рифлену поверхню та бортик на передньому краю заввишки 10 мм.

Робоче сидіння користувача ПЕОМ має такі основні елементи: сидіння, спинку та стаціонарні або знімні підлокітники. Робоче сидіння регулюється по висоті, куту нахилу сидіння і спинки, висоті підлокітників. Регулювання кожного параметра незалежні. Ширина і глибина сидіння 400 мм. Висота поверхні сидіння регулюється в межах 400-500 мм, а кут нахилу поверхні - від 150 вперед до 5 С° назад . Висота спинки сидіння складає 300 мм, а ширина - 380 мм. Кут нахилу спинки регулюється в межах 0-30 С° від вертикального положення .

Клавіатуру знаходиться на столі на висоту по відношенню до підлоги 630 мм. Як часто використовуваний засіб відображення інформації, дисплей поміщений на столі. Його екран розташований у вертикальній площині під кутом 15 С° від нормальної лінії погляду, в горизонтальній площині 60 С°.

Щоб уникнути перенапруги органів зору дотримано відстань до монітора 50-70 см.

Також є вимоги щодо гігієни і культури ви, тоді потрібні санітарно-побутові приміщення:

- під час перерви;
- душових для підтримки чистоти тіла під час роботи с пильних дослідів, або з шкідливими речовинами;
- гардеробів (роздягалень) для збереження повсякденного чи спеціального одягу і взуття;
- умивальників, фонтанчиків для питної води;
- приміщення для знешкодження, очищення й просушування спецодягу;
- туалетів.

Надання першої допомоги, лікувально і санітарно-профілактичні роботи проводять в оздоровчих пунктах.

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота

зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення. Відомо, що максимальної контрастної чутливості (здатність очі розрізняти яскравість забарвленою поверхні) забезпечується яскравістю фону не більше 100 – 3200 кд/кв.м. За межами цих величин вона знижується

Швидкість зорового сприйняття підвищується зі збільшенням висвітлення. Вона швидко зростає при висвітленні в 70 – 75 лк. Повільніше – при висвітленні в 1000 – 1200 лк. і більше. Чітке сприйняття предмета очей зберігає певний час. Стійкість ясного бачення залежить від характеру виконуваної роботи, умов виробничої середовища, зокрема, від тривалості висвітлення (з поліпшенням висвітлення різко підвищується тривалість ясного бачення).

Існуючі норми штучного висвітлення виробничих приміщеннях передбачають різний рівень висвітлення для різної точності робіт.

Норми встановлюють найменші допустимі значення освітленості, при яких забезпечується успішне виконання різної характером і складності зорової роботи.

Висвітлення виробничих приміщень лише штучним світлом припустиме лише як виняток. Необхідно враховувати, що природний світло стимулює життєдіяльність організму людини (біологічне дію, сформоване у процесі філоонтогенезагенеза). Він створює відчуття безпосередній зв'язок із зовнішнього середовищем, дозволяє забезпечити рівномірний висвітлення приміщень.

Створення сприятливих умов праці, його подальше полегшення сприяють, з одного боку, збереження здоров'я трудящих, вдосконалення їх трудових навичок, а, з іншого - підвищенню працездатності і продуктивності праці, зниження плинності кадрів і поліпшення дисципліни на виробництві.

3.4 Електробезпека

Енергопостачання лабораторії здійснюється від трифазної мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю, змінного струму частотою 50 Гц.

Електрообладнання, що використовується в лабораторії згідно ПУЕ відноситься до установок напругою до 1000 В.

Умови, які створюють особливу небезпеку (особлива сирість, хімічно активна або органічна середу, струмопровідна пил тощо) у даному приміщенні відсутні. Тому за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ - 85) приміщення лабораторії відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки, тому що відсутня можливість одночасного дотику людини до заземлених металевих поверхням і корпусу ПЕОМ.

Для зниження небезпеки ураження людини електричним струмом проведемо наступні заходи технічного характеру:

Така як в лабораторії використовується мережа з заземленою нейтраллю до 1000 В, то згідно [38] всі металеві конструкції і частини обладнання НДЛ, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку, повинні підлягати зануленню (захисне заземлення не ефективно).

Нульовий захисний провідник забезпечується надійністю з'єднань; забезпечуватися безперервність ланцюга від кожного корпусу електроустановки до нейтралі джерела.

Додатково застосовується повторне заземлення нульового проводу з метою зниження потенціалу занулених корпусів і напруги дотику. Шина занулення доступна для огляду. Величина робочого заземлення становить 4 Ом, кожного повторного заземлення нульового проводу 30 Ом згідно ШЕУ-85.

Проводити періодичний контроль ізоляції не рідше рази на рік виміром її активного опору при випробуванні підвищеним напругою протягом 1 хвилини.

Організаційні заходи згідно [39]: а) використовувати плакати наочної агітації; б) забезпечити нормальний режим праці та відпочинку робітникам: час безперервної роботи не більше 4 -х годин; 10 -ти хвилинні перерви через кожну годину роботи.

3.5 Пожежна безпека

За пожежонебезпеки дане приміщення, згідно [40], відноситься до категорії В - пожежонебезпечна, тому що в приміщенні знаходяться тверді горючі і важко горючі речовини і матеріали, які при взаємодії з киснем повітря здатні тільки горіти.

За ступенем вогнестійкості дане приміщення відноситься до 1 -го ступеня вогнестійкості за [41] (виконано з цегли, яке відноситься до неспаленим матеріалами).

У розглянутому приміщенні знаходяться ПЕОМ, в яких дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. Сама ПЕОМ являє собою пожежну небезпеку, так як при підвищенні температури окремих вузлів можливо оплавлення ізоляції сполучних проводів, яке веде до короткого замикання, що супроводжується, в свою чергу, іскрінням.

Можливі причини пожежі:

- а) перевантаження в електромережі;
- б) коротке замикання;
- в) руйнування ізоляції провідників.

Пожежна безпека в лабораторії забезпечується відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 системою запобігання пожежі, протипожежного захисту та організаційно - технічними заходами.

Система протипожежного захисту:

- а) встановлена автоматична пожежна сигналізація на димових извещателях ДШІ - 1, з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення,

враховуючи високу вартість обладнання, наявність прихованих комунікацій і специфіку загоряння ЕОМ. Тобто на площу 56 м² необхідно 4 димових сповіщувача .

б) розміщені 2 вуглекислотних вогнегасники ОУ-5 (ручні) з розрахунку 1 вогнегасник на 40-50 м².

Організаційні заходи:

- а) проводиться інструктаж персоналу з ТБ;
- б) розроблені заходи щодо дій адміністрації на випадок виникнення пожежі;
- в) схема евакуації при пожежі поміщена на видному місці ;
- г) ширина дверного отвору на випадок евакуації 1,5 м., висота 2 м.

3.6 Засоби індивідуального захисту

Робочі комбінезони і халати, головні убори і чисте взуття повинні видаватися як персоналу, так і усім відвідувачам, що входять до лабораторії .

Обов'язковим повинно бути вимоги миття рук дезінфікуючим розчином або водою з милом.

Персонал і відвідувачі не повинні мати контакту – як прямий, так і непрямий - дослідом.

Комплект ЗІЗ - спецодяг, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри, респіратори повинні бути підібрані індивідуально та закріплені за кожним на весь період дослідів. Засоби індивідуального захисту повинні знаходитися індивідуальних пакетах, у спеціально виділеному сухому, чистому приміщенні, яке добре провітрюється.

3.7 Розрахунок освітлення

М. Запоріжжя знаходиться в ІУ поясі. Значення коефіцієнту природної освітленості 0,2%. Також використовується штучне освітлення лампами денного світла. Також у лабораторії є світильники, які складаються з джерела світла.

Розрахунок природного наведено нижче.

Нормативне значення коефіцієнта природного освітлення:

$$E_H = E_m \cdot c \cdot m,$$

c – сонячності клімату,

$$c = 0,75,$$

m – коефіцієнт світлового клімату,

$$m = 0,9,$$

$E_m = 0,2\%$ табличне значення коефіцієнту природної освітленості.

$$E_H = 0,2 \cdot 0,75 \cdot 0,9 = 0,135,$$

Розрахунковий коефіцієнт природної освітленості:

$$E_p = 100 \cdot s_o \cdot \tau_o \cdot r_1 / \eta_o \cdot K_{зд} \cdot K_3 \cdot S_{п} ,$$

де s_o – площа світових прорізів 4,8 м²,

τ_o – загальний коефіцієнт світло проникнення, який визначається:

r_1 – коефіцієнт, який враховує вплив світла, що відбивається

$$r_1=0,8$$

де η_0 світлова характеристика вікна 8,5;

$k_{зд}$ – коефіцієнт, який враховує затемнення вікон будівлями, що стоять напроти, $k_{зд}=1$;

k_3 коефіцієнт запасу, $k_3=1,7$,

сп площа підлоги приміщення, $s_{п}$ 30,76 м².

Загальний коефіцієнт світло проникнення, який визначається:

$$\tau_0=\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$$

де τ_1 - коефіцієнт світло пропускання матеріалу, $\tau_1=0,5$;

τ_2 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в рамках, $\tau_2=0,85$;

τ_3 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в конструкціях, $\tau_3=1$;

τ_4 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях, $\tau_4=1$;

τ_5 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в захисної сітці, $\tau_5=0,9$.

$$\tau_0=0,5 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9=0,3825$$

$$E_p=4,8 \cdot 0,3825 \cdot 0,8 \cdot 100 / 8,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 30,76=0,33$$

Висновок: розрахунковий коефіцієнт освітленості більше нормативного, то ж забезпечується нормативна освітленість.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі представлено аналіз шляхів створення теплоізоляційних блоків на основі гідросилікатів. Використання відсіву подрібнення базальту для виготовлення автоклавної силікатної цегли дозволяє розширити сировинну базу силікатної промисловості, зменшити енерговитрати на виробництво та знайти один із напрямків раціонального використання цього відходу. Проведені дослідження свідчать про ефективність застосування синтезованих в присутності діятимуть гідросилікатів кальцію в вапняних композитах як добавки, що регулює структуроутворення, що дозволить підвищити експлуатаційні властивості теплоізоляційних гідросилікатних блоків.

Експериментально доведено, що рівномірність пористості значно впливає на теплопровідність пористих будівельних матеріалів. Був знайдений коефіцієнт теплопровідності запропонованої конструкції.

Результати проведеного експерименту тільки підтвердили правильність раніше отриманих залежностей керівника магістерської роботи [17,25]. Отримана теплоізоляція мала наступні теплофізичні характеристики: коефіцієнт теплопровідності $0,115 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Чим менше розмір пор, тим менше конвективна складова теплообміну, але якщо розглядати кінетику росту пор, то при збільшенні радіуса пори зменшуватимуть внутрішній тиск пор, а значить і зменшать теплопровідність пор. Знаходження оптимального розміру пор можливо тільки після з'ясування механізму зростання пор, зокрема, зміна концентрації газу всередині пори при її розвитку і ймовірність зростання пори за рахунок поглинання нею іншої пори.

Для досягнення рівномірної пористості необхідно мінімізувати градієнт температур і в'язкості за матеріалом під час його теплової обробці. Також, при

спучуванні суміші, необхідно прибрати непотрібні домішки з температурою плавлення вище температури спучування.

Дотримуючись перерахованих вище умов і визначивши оптимальні режими теплової обробки (які залежатимуть від хімічного складу вихідної суміші) можна отримати високоякісний екологічно чистий теплоізоляційний матеріал. При цьому якщо спучування матеріалу проводити при низьких температурах (до 300 °С) то єдиною речовиною що виділяється в атмосферу є водяні пари.

На підставі аналізу існуючих теорій і методів термообробки вологої пористої частки показана відсутність цілісного підходу до теоретичного опису процесу термічного спучення пористих матеріалів. У зв'язку з цим розроблені нові теоретичний і технологічний підходи до термічного спучення частки з метою створення теплоізоляційного матеріалу на основі кремнезему, що має низький коефіцієнт теплопровідності і мінімальні економічні витрати при виробництві.

Отриманий матеріал можна буде застосувати в конструкціях будівель і споруд, так як він не виділяє токсичні речовини при експлуатації і відноситься до групи негорючих матеріалів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Чейлытко, А.А. Управление теплофизическими характеристиками пористого теплоизоляционного материала [Текст]/ А.А. Чейлытко // *Металлургическая теплотехника*. – 2012. – № 4 (19). – С. 183 – 189.
2. Чейлытко, А.А. Исследование влияния пор на теплопроводность материалов [Текст] / А.А. Чейлытко // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2013. – № 10. – С. 14 – 17.
3. Логаніка В.І. Структурутворення вапняних композитів в присутності синтезованих добавок на основі гідросилікатів кальцію, 2001, - 47 с.
4. Чейлытко, А.О. Зародження пор та їх вплив на властивості матеріалу [Текст] / А.О. Чейлытко // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – № 5/1 (25). – С. 30 – 35.
5. Чейлытко, А.А. Влияние синтеза исходной смеси и пенообразователей на образование пористой структуры [Текст] / А.А. Чейлытко // *Восточно–европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – №5/8 (77). – С. 35 – 38.
6. Павлюкевич Н.В. Введення в теорію тепло- і масопереносу в пористому середовищі / Н.В.Павлюкевич Мн.: Ін-т тепло- і масообмін ім. А.В. Ликова НАНБ. 2002.- 140 с. ISBN 985-6456-31-2.
7. Павленко, А.М. Параметры газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры в состоянии равновесия [Текст] / А.М. Павленко, А.А. Чейлытко, А.В. Кошлак, М.А. Носов // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171) – С. 28 – 35.
8. Pavlenko, A. Dimensions of the nucleus agent pore former closed spherical pores [Text] / A. Cheilytko, A. Pavlenko, H.Kochlak // *Aktualne*

Zagadnienia Energetyki, Budownictwa i Inżynierii Środowiska: Collection of conference material. – Romania, Oradea: Oradea University Press. – 2016, p.75-8.

9. Cheilytko, A. A study of the rates of pore nucleation and pore growth in alumina-based thermal insulation materials [Текст] / A. Cheilytko // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2016. – №8 (80). – С. 56 – 62.

10. Чейлитко, А.О. Дослідження можливості зміни коефіцієнту теплопровідності металів шляхом зміни розмірів та розташування пор [Текст] / А.О. Чейлитко // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2016. – № 2– С. 82 – 89.

11. Pavlenko, A. Study of the formation of gas-vapor in the liquid mixture [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, A. Cheilytko, M. Nosov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Applied physics. Materials science. – 2016. – Vol 4. – №5(82). – P. 58–65.

12. Cheilytko, A. Finding of the generalized equation of thermal conductivity for porous heat-insulating materials [Text] // Technology audit and production reserves. – 2016. – Т. 5. – №. 1 (31). – С. 4-10.

13. Чейлитко, А.О. Дослідження впливу форми пор на тепловий опір пористих теплоізоляційних матеріалів [Текст] / А.О. Чейлитко, А.А. Чейлитко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 3– С. 3 – 9.

14. Павленко, А.М. Композиційна високопориста теплова ізоляція з ефективними параметрами пористості [Текст] / А.М. Павленко, А.О. Чейлитко, М.А. Носов // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214) – С. 92 – 96.

15. Pavlenko, A.M. Research of effective thermal conductivity and its parts in porous metallic materials with different parameters of porosity [electronic resource]/ A.M. Pavlenko, H.V. Koshlak, A.O. Cheilytko, M.A. Nosov, A.V. Syzonenko // Metal journal, Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 12. – P. 66 – 75.

16. Павленко, А.М. Створення високопористого вогнетривкого теплоізоляційного матеріалу [Текст] / А. М. Павленко, І. Г. Яковлева, А. О. Чейлитко, Р. Р. Матказіна // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229) – С. 91 – 97.

17. Чейлитко, А.О. Комплексные показатели пористой структуры и их связь с теплофизическими характеристиками теплоизоляционных материалов [Текст] / А.О. Чейлитко // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: збірник наукових праць. – Дніпро: Нова ідеологія. – 2016. – № 8 – с.184-192

18. Белоконь, Ю.А. Исследование условий взаимодействия интерметаллидных систем при нестационарных температурных процессах [Текст] / Ю.А. Белоконь, А.А. Жеребцов, К.В. Белоконь, А.А. Чейлитко // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. науч. праць. – Дніпро: ДВНЗ «Піднепр. держ. академія буд-ва і архітектури. – 2017. – Вип.95. – С.35-40.

19. Pavlenko, A. Development of a new method for obtaining claydite with a minimal thermal conductivity coefficient [Text] / A. Pavlenko, A. Cheilytko, O. Lymarenko, O. Taranenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №87. – P. 11–16.

20. Pavlenko, A.M. Mathematical description of heat transfer through the body with a closed porosity [Text] / A. M. Pavlenko, A.A. Cheilytko, M.A. Nosov // Energy, Energy saving and ration Nature Use. Kazimierz Pułaski University of Technology and Humanities in Radom. – №1-2(7,8). – 2017. p. 43 – 50.

21. Яковлева, І.Г. Розробка структури нової теплової ізоляції на основі металевих перфорованих пластин [Текст] / І.Г. Яковлева, А.О. Чейлитко, Ю.О. Белоконь, М.А. Носов // Металургія : Збірник наукових праць. – Запоріжжя: ЗДІА, 2017. – Вип. 2 (38). – С. 94-100.

22. Cheilytko, A.A. Creation of effective metallic thermal insulation constructions [Text] / A.A. Cheilytko, S.V. Ilin, M.A. Nosov // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. – №6 (162). – P. 103–109.

23. Pavlenko A. Finding equation constants transfer heat fluids in open porous structure [Text] / A. Pavlenko, A. Cheilytko, S. Ilin // II International Scientific-Technical Conference Actual problems of power engineering, construction and environmental engineering – Kielce: Kielce University of Technology. – 2017. – p.123-131

24. Pavlenko A. Dimensions of the nucleus agent pore former closed spherical pores [Text] / A. Pavlenko, A. Cheylitko, H. Koshlak, J. Zb. Piotrowski // Journal of new technologies in environmental science – Kielce: Kielce University of Technology. – 2017. – V.1 (No.3). –101-107

25. Pavlenko A. Research of influence of the perforation form in metal products on their thermal conductivity [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, A. Cheylitko // Journal of new technologies in environmental science – Kielce: Kielce University of Technology. – 2017. – V.1 (No.3). –107-113

26. Pavlenko A. Porous structures and their effect on thermophysical properties of thermal protection elements [Text] / A. Pavlenko, A. Cheylitko, S. Ilin // Journal of new technologies in environmental science – Kielce: Kielce University of Technology. – 2018. – V.2 (No.3). –125-133.

27. Pavlenko, A. Investigation of the process of pore formation based materials Hydrosilicates [Text] / Anatoliy M. Pavlenko, Andrii Cheilytko // Journal of new technologies in environmental science – Kielce: Kielce University of Technology. – 2018. – V.2 (No.4). –174-182

28. Козловский, В.М. Импульсный метод измерения температуропроводности и теплоемкости полупроводниковых образцов малого размера / В.М. Козловский, Б.М. Могилевский, А.Ф. Чудновский // Инженерно-физический журнал, – 1972. – Т.20. – № 5. – С.829 – 834.

29. Терлецький Р. Ф., Турій О. П. Моделювання і дослідження теплопереносу у пластинах з тонкими покриттями за врахування впливу випромінювання // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 2015. – Т. 55. – №. 2. – С. 186-201.

30. Zhang C. et al. MHD flow and radiation heat transfer of nanofluids in porous media with variable surface heat flux and chemical reaction // Applied Mathematical Modelling. – 2015. – Т. 39. – №. 1. – р. 165-181.

31. Яковлева И.Г., Пазюк М.Ю., Мных А.С. Вплив умов формування сипучого шару залізородних та бокситових матеріалів на коефіцієнт тепловіддачі // Холодильна техніка та технологія. – 2017. – Т. 52. – №. 4.

32. Говорун, Т.П. Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів: навчальний посібник / Т.П. Говорун, А.Ф. Будник / Суми: Сумський державний університет. – 2014. – 255 с.

33. Чейлытко, А.А. Формування теплофізичних властивостей елементів конструкцій теплового захисту шляхом створення прогнозованих пористих структур [Текст]: монографія / А. О. Чейлытко. — Запоріжжя: ЗДІА, 2017. — 318 с.

34. Спосіб одержання пористого гранульованого матеріалу на основі кремнезему : пат. 76027 Україна / А.О. Чейлытко, А.М. Павленко. – № 2012 0568; заявл. 10.05.2012 ; опублік. 25.12.2012, Бюл. № 24. – 2 с.

35. Косенко О.І., Кустовська А.Д. Дослідження закономірностей модифікування структури феросилікагелів // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – 2012. – №. 33. – С. 129-135.

36. Freire–Gormaly M. The Pore Structure of Indiana Limestone and Pink Dolomite for the Modeling of Carbon Dioxide in Geologic Carbonate Rock Formations [Електронний ресурс] / Department of Mechanical and Industrial Engineering. – University of Toronto, 2013. – Режим доступу: <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/42840/1/Freire–>

Gormaly_Marina_201311_MASc_thesis.pdfhttps://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/42840/1/Freire-Gormaly_Marina_201311_MASc_thesis.pdf

37. Eom J.-H., Kim Y.-W., Raju S. (2013). Processing and properties of macroporous silicon carbide ceramics: *Journal of Asian Ceramic Societies*, 1 (3), 220–242. doi: 10.1016/j.jascer.2013.07.003

38. Dincov D.D., Parrott K.A., Pericleous K.A. Heat and mass transfer in two-phase porous materials under intensive microwave heating [Электронный ресурс] / *Journal of Food Engineering* 65, 2004 – Режим доступа: <http://www.researchgate.net/publication/222658046>

39. Jung-Hye E., Young-Wook K., Santosh R. Processing and properties of macroporous silicon carbide ceramics: A review [Электронный ресурс] / *Journal of Asian Ceramic Societies* 1, 2013, p.220–242. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2187076413000523>

40. Pavlenko A.M., Koshlak H.V. (2015). Design of processes of thermal bloating of silicates, No 1, p.p. 118-122.

41. Дульнев, Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов [Текст] / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. - Ленинград : Энергия, 1974. - 264 с.

42. Bentz D.P. Potential applications of phase change materials in concrete technology / Bentz D.P., Turpin R. // *Cement and Concrete Composites*. – 2007. – Т. 29. – №. 7. – p. 527-532.

43. Bajare D., Kazjonovs J., Korjakins A. (2013). Lightweight Concrete with Aggregates Made by Using Industrial Waste: *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, № 4(5). – Riga Technical University, Faculty of Civil Engineering, Latvia. DOI: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.sace.4.5.4188>

44. Шпак, А.П. Кластерные и наноструктурные материалы. Т.3. Пористость как особое состояние самоорганизованной структуры в твердотельных материалах [Текст] // А.П. Шпак, П.Г. Черемской, Ю.А.

Куницкий, О.В. Соболев// К.: ВД «Академперіодика», 2005. – 516 с. ISBN 966-360-029-2

45. Bodnárová L., Hela R., Hubertová M., Nováková I. (2014). Behaviour of Lightweight Expanded Clay Aggregate Concrete Exposed to High Temperatures: International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, Vol:8, No:12, p.p.1205-1208, scholar.waset.org/1999.3/9999750

46. Очеретний, В.П. Залежність теплотехнічних та фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів від параметрів виготовлення / В.П. Очеретний, В.П. Ковальський, М.П. Машницький, А.В. Бондар // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – Т. 7. – №. 2. – С. 34-39.

47. Титлов А.С. Аналитические зависимости для расчета термодинамических параметров и теплофизических свойств водоаммиачного раствора / Е.А. Осадчук, А.С. Титлов // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. - 2011. - Вип. 39(1). - С. 178-182.

48. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела. Т.1 [Текст] / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М. : Мир, 1979. – 392 с.

49. Карклит А. К., Тихонова Л.А. Огнеупоры из высокоглиноземистого сырья. М.: Металлургия. 1974. 152 с

50. Шатунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. «Энергия», 1972.

51. Э.И. Денисова, А.В. Шак. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-λ-400 Учебное электронное текстовое издание Екатеринбург ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005

52. Д.М.Жметко, П.В.Леміш. Фізичні методи дослідження. Практикум для студентів фізичного факультету. Запоріжжя:ЗНУ, 2008. – 77с.

53. Deshko, V.I. Thermophysical and optical properties of fluoride crystals and melts / Deshko V.I. Varlamov G.B., Vasil'chenko G.N., Karvatskii A.,

Khlebnikov, O.E // High Temperatures. High Pressures. – 1989. – Т. 21. – №. 6. – С. 647-656.

54. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення