

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Хіміко-технологічний факультет
Кафедра хімічної технології композиційних матеріалів

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Напрямок підготовки 6.051301 Хімічна технологія
Спеціальність 8.05130107 Хімічні технології переробки полімерних та композиційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ХТКМ

_____ В. А. Свідерський

« ____ » _____ 201__ р

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Мірошниковій Катерині Олегівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження теплопровідності полімерних композицій з легкими мінеральними наповнювачами

Науковий керівник Миронюк Олексій Володимирович, старший викладач, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ 09 ” квітня 2015 року № 858-с

2. Строк подання студентом дисертації 09 червня 2015 року

3. Об'єкт дослідження процеси тепло переносу в полімерних композиціях та наповнювачах

4. Предмет дослідження композиції на основі водних емульсій стирол-акрилового полімеру з низькою температурою склування Osacryl 23NM з використанням в якості наповнювачів спученого перліту, скло сфер та зольних мікросфер

5. Перелік питань, які потрібно розробити

Дослідження та вибір пористих заповнювачів

Визначення теплоізоляційної ефективності ряду пористих заповнювачів в композиції

Моделювання процесу теплопереносу в композиціях

Створення експериментальної установки

6. Перелік ілюстративного матеріалу Презентація складається з 17 слайдів
1-3 слайди – Вступна частина; 4-5 слайди - Пористі заповнювачі; 6-9 слайди -
Гранулометричний розподіл; 10 слайд - Гідрофобізація перліту; 11-13 слайди -
Дослідження взаємодії в системі поверхня перліту-плівкоутворювач; 14-16 слайди -
Дослідження теплопровідності; 17 – Висновки

7. Перелік публікацій

VII Всеукраїнська конференція студентів та аспірантів «Хімічні Каразінські читання
2015», стр. 42-43

Шістнадцята Міжнародна конференція студентів та аспірантів «Сучасні проблеми
хімії», стр.37

8. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Полукаров Ю.О., доц., к.т.н.		

9. Дата видачі завдання 29.10.2013

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання	29.10.2013	Виконано
2	Підготовка літературного огляду	03.02.2014	Виконано
3	Теоретичні відомості	25.04.2014	Виконано
4	Характеристика матеріалів	18.06.2014	Виконано
5	Дослідження матеріалів	26.01.2015	Виконано
6	Дослідження властивостей модифікаторів	15.02.2015	Виконано
7	Дослідження взаємодії в системі поверхня перліту-плівкоутворювач	27.02.2015	Виконано
8	Дослідження теплопровідності композиції з наповнювачами	07.03.2015	Виконано
9	Охорона праці	12.04.2015	Виконано
10	Підготовка роботи до захисту	24.05.2015	Виконано
11	Оформлення дисертаційної роботи	04.06.2015	Виконано
	Нормоконтроль	15.06.2015	

Студент

_____ Мірошникова К.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник

_____ Миرونюк О.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	4
Вступ	5
1 Теоретичні відомості	7
1.1 Захисні полімерні покриття, властивості та процес їх формування	7
1.1.1 Густина і пористість	7
1.1.2 Міцнісні показники	8
1.1.3 Теплопровідність и теплоємність.....	9
1.1.4 Теплостійкість.....	10
1.1.5 Вологість и водопоглинання.....	11
1.1.6 Паропроникність, водонепроникність, водостійкість.....	12
1.1.7 Хімічна и біологічна стійкість.....	13
1.1.8 Стиснення, пружність, гнучкість і ущільнення.....	14
1.1.9 Вогнестійкість.....	15
1.1.10 Звукопоглинання та звукоізоляція.....	15
1.2 Класифікація теплоізоляційних матеріалів.....	16
1.3 Застосування ПТМ.....	18
1.4 Процеси переносу тепла.....	20
1.4.1 Теплопровідність.....	20
1.4.2 Конвекція.....	22
1.4.3 Теплове випромінювання.....	22
1.5 Перенесення вологи у пористих тілах.....	25
1.6 Основне теплообміну.....	28
1.6.1 Теплопровідність одношарової плоскої стінки.....	29
1.6.2 Теплопровідність плоскої багатошарової стінки.....	30
2. Характеристика матеріалів.....	34
2.1 Спучений перліт.....	34
2.1.1 Види та властивості.....	34

2.1.2 Основитехнологіїспученогоперліту.....	36
2.2 Гідрофобізованийспученийперліт.....	37
2.3 Зольнімікросфери.....	38
2.4 Склянімікросфери.....	39
2.4.1 Властивості.....	39
2.5 Диспергатор.....	40
2.6 Латекс.....	41
3. Дослідження матеріалів.....	44
3.1 Спучений перліт.....	45
3.2 Зольні мікросфери.....	47
3.3 Склосфери МС-30.....	49
3.4СклосфериW 250-6.....	52
4. Дослідження властивостей модифікаторів для гідрофобізації перліту.....	56
4.1 Перевірка якості гідрофобної обробки.....	56
4.1.1 Методика визначення кута змочуваннягідрофобізованихперлітових матеріалів.....	56
4.1.2 Методика визначеннячасткиседиментаційногоматеріалупісля гідрофобізації.....	57
4.2 Вибіррефективногогідрофобізатора.....	58
4.3 Технологічний процес гідрофобізації перліту.....	62
4.4 Оцінка ефективності технологічних схем гідрофобізації.....	63
5. Дослідження взаємодії в системі поверхня перліту-плівкоутворювач.....	66
5.1 Латекс OsakryIOSA 23NM.....	67
5.2 Спучений перліт.....	69
5.3 Спученийперліт та латекс.....	70
6. Дослідження композиції з різними наповнювачами.....	74
6.1 Теплопровідність спученого перліту.....	74
6.1.1Композиція зі спученим перлітом.....	74
6.1.2 Спучений перліт.....	75
6.2 Теплопровідність гідрофобізованогоперліту.....	76

6.2.1 Композиція з гідрофобізованим перліт.....	76
6.2.2 Гідрофобізований перліт.....	77
6.3 Теплопровідність скло сфер МС-30.....	78
6.3.1 Композиція із склосферами.....	78
6.3.2 Склосфери МС-30.....	78
6.4 Теплопровідність склосфер w 250-6.....	79
6.4.1 Композиція зі склосферами w 250-6.....	79
6.4.2 Склосфери w 250-6.....	80
6.5 Теплопровідність зольних мікросфер.....	81
6.5.1 Композиція із зольних мікросфери.....	81
6.5.2 Зольні мікросфери.....	82
7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	85
7.1 Охорона праці.....	85
7.1.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Заходи з охорони праці.....	85
7.1.1.1 Повітря робочої зони.....	85
7.1.1.2 Освітлення.....	87
7.1.1.3 Захист від виробничого шуму і вібрації.....	88
7.1.1.4 Випромінювання.....	88
7.1.1.5 Електробезпека.....	89
7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	90
7.2.1 Атестація робочого місця.....	90
7.2.2 Безпека проведення експериментів.....	92
7.2.3 Пожежна безпека.....	92
7.2.4 Аналіз безпеки об'єкта.....	93
7.3 Оцінювання захисних споруд за своєчасним криттям робітників і службовців.....	94
Висновки.....	96
Перелік посилань.....	97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

ПТМ - полімерні теплоізоляційні матеріали;

ПС – полістирол;

ОНГ - особливо низької густини;

НГ - низької густини;

СГ - середньої густини;

Q – відсотковий вміст фракцій;

ІЧ – інфрачервона спектроскопія;

q - розрахована густина теплового потоку;

q_u - експериментальна густина теплового потоку;

A – площа;

R_u – опір.

ВСТУП

Теплоізоляційними називають матеріали, що застосовуються в будівництві житлових та промислових будівель, теплових агрегатів і трубопроводів з метою зменшити теплові втрати в навколишнє середовище. Теплоізоляційні матеріали характеризуються пористою структурою і, як наслідок цього, малою густиною (не більше 600 кг/м^3) і низьку теплопровідність (не більше $0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$).

Використання теплоізоляційних матеріалів дозволяє зменшити товщину і масу стін та інших огорожувальних конструкцій, знизити витрату основних конструктивних матеріалів, зменшити транспортні витрати і відповідно знизити вартість будівництва. Поряд з цим при скороченні втрат тепла опалювальними будівлями зменшується витрата палива. Багато теплоізоляційних матеріалів внаслідок високої пористості мають здатність поглинати звуки, що дозволяє вживати їх також як акустичні матеріали для боротьби з шумом.

Теплоізоляційні матеріали класифікують за видом основної сировини, формою та зовнішнім виглядом, структурою, густиною, жорсткістю і теплопровідністю.

Теплоізоляційні матеріали по виду основної сировини підрозділяються на:

- неорганічні, виготовлені на основі різних видів мінеральної сировини (гірських порід, шлаків, скла, азбесту);
- органічні, сировиною для виробництва яких служать природні органічні матеріали (торф'яні, деревоволокнисті) і матеріали з пластичних мас.

За формою і зовнішнім виглядом розрізняють теплоізоляційні матеріали:

- штучні жорсткі (плити, шкаралупи, сегменти, цеглу, циліндри);
- гнучкі (мати, шнури, джгути);
- пухкі й сипучі (вата, перлітовий пісок, вермикуліт).

За структурою теплоізоляційні матеріали класифікують на волокнисті (мінераловатні, скло - волокнисті), зернисті (перлітові, вермикулітові), комірчасті (вироби з пористих бетонів, піноскло).

За густиною теплоізоляційні матеріали ділять на марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600.

В залежності від жорсткості (відносної деформації) виділяють матеріали:

- м'які (М) - мінеральна і скляна вата, вата з каолінового і базальтового волокна;
- напівтверді (П) - плити з шпательного скловолокна на синтетичному сполучному та ін.;
- жорсткі (Ж) - плити з мінеральної вати на синтетичному сполучному;
- підвищеної жорсткості (ПЖ);
- тверді (Т).

По теплопровідності теплоізоляційні матеріали поділяються на класи:

- А - низької теплопровідності до $0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$;
- Б - середньої теплопровідності - від $0,06$ до $0,115 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$;
- В - підвищеної теплопровідності - від $0,115$ до $0,175 \text{ Вт} / (\text{м}\cdot^\circ\text{С})$.

За призначенням теплоізоляційні матеріали бувають теплоізоляційно-будівельні (для утеплення будівельних конструкцій) і теплоізоляційно-монтажні (для теплової ізоляції промислового обладнання і трубопроводів).

Теплоізоляційні матеріали повинні бути біостійкими, тобто не піддаватись загниванню і псуванню комахами та гризунами, сухими, з малою гігроскопічністю так як при зволоженні їх теплопровідність значно підвищується, хімічно стійкими, а також володіти тепло і вогнестійкістю.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Властивості полімерних теплоізоляційних матеріалів

Полімерні теплоізоляційні матеріали (ПТМ) - новий вид надзвичайно ефективних теплоізоляційних і звукоізоляційних матеріалів, що володіють рядом дуже цінних для будівництва властивостей: малою об'ємною вагою, достатньою міцністю і гігроскопічністю, низьким коефіцієнтом теплопровідності тощо.

За теплоізоляційними властивостями ПТМ перевершують більшість відомих матеріалів. Для отримання однакового термічного опору товщина ізоляційного шару становить (у см): граніт, базальт, мармур - 250; піщаник, вапняк - 150; залізобетон - 130; щільний бетон-100; пустотіла цегла - 50; пемзобетон -40; деревина - 20; пінополістирол - 1,5.

Жорсткі і еластичні пінопласти мало проникні для звукових коливань. При використанні їх для звукоізоляції слід мати на увазі, що завдяки тонкій суцільній плівці полімеру на їх поверхні вони здатні не поглинати, а відбивати звукові хвилі. Якщо цю плівку видалити, звукопоглинальні властивості пінопластів підвищуються.

Найбільшою здатністю до звукопоглинання володіють пористі матеріали: їх відкрита система пір сприяє створенню «звукового лабіринту».

Матеріали з закритими порами, як правило, мають невисоку звукопоглинальну здатність, але практично звуконепроникні.

1.1.1 Густина і пористість

Густина полімерних теплоізоляційних матеріалів є одним з основних показників, що характеризує властивості матеріалу. Знаючи густину пористого матеріалу, можна скласти собі приблизне уявлення про його теплопровідність і міцнісні показники. Полімерні теплоізоляційні матеріали, мають густину в межах від 10 до 250 кг/м³.

Розміри і кількість пор в теплоізоляційних полімерних матеріалах залежать від виду застосованої сировини (полімеру і пороутворювача) і способу отримання. Чим більшу частину обсягу матеріалу займають закриті пори і чим вони дрібніші, тим вище його механічна міцність, значно менше водопоглинання і кращі теплоізоляційні якості. Остання обставина зумовлено тим, що у великих і сполучених порах виникає рух повітря, що супроводжується перенесенням тепла (конвекцією), що підвищує сумарний коефіцієнт теплопровідності. Тому визначення вмісту в матеріалі закритих пор дуже важливо для правильної оцінки якості матеріалу.

Простір, зайнятий закритими порами і полімерними стінками пористого матеріалу, визначається обсягом повітря, витісненого з камери вимірювального приладу при переміщенні в неї досліджуваного зразка.

1.1.2 Міцнісні показники

Міцнісні показники полімерних теплоізоляційних матеріалів значною мірою залежать від виду полімеру, на основі якого виготовлений матеріал, і його об'ємної ваги.

Теплоізоляційні будівельні полімерні матеріали можуть піддаватися різним навантаженням в конструкціях, випробовувати різні напруги - стиск, розтяг, вигин, зріз, удар. Ці напруги по-різному діють на матеріали, що володіють різними характеристиками міцності. Для правильності розрахунків при використанні цих матеріалів необхідно точно знати ці характеристики.

Межа міцності при стисненні всіх видів пінопластів дає значну деформацію при стисненні. Тому розрізняють межу міцності при стисненні у жорстких пінопластів (пінополістиролу марок ПС-1 і ПС-4 і ін.) і міцність при 10% -му стисненні у м'яких пінопластів, сильно деформуючих пінопластів (наприклад, у пінополістиролу марки ПСБ). Метод визначення умовної межі міцності при стисненні полягає у визначенні граничного напруження, відповідного крихкому руйнуванню зразка або різкої зміни характеру діаграми стиснення, якщо зразок не руйнується.

Питома ударна в'язкість визначається як кількість роботи, необхідної для руйнування зразка при випробуванні його на вигин ударним навантаженням, віднесене до площі поперечного перерізу зразка. Зразки для проведення випробувань аналогічні зразкам жорстких пінопластів при випробуванні їх на статичний вигин [1].

1.1.3 Теплопровідність и теплоємність

Теплопровідність - здатність матеріалу передавати через свою товщу тепловий потік, що виникає внаслідок різниці температур на протилежних поверхнях. Різні матеріали проводять теплоту по різному: одні швидше (наприклад, метали), інші повільніше (теплоізоляційні матеріали). Теплопровідність характеризується кількістю теплоти (Дж), що проходить протягом 1 року через зразок матеріалу товщиною 1 м, площею 1 м², при різниці температур на протилежних плоскопаралельних поверхнях в 1 К. Теплопровідність позначають буквою λ і виражають у Вт/(м·К). Теплопровідність залежить від середньої густини матеріалу (із збільшенням середньої густини теплопровідність зростає), його структури, пористості, вологості і середньої температури шару матеріалу. Чим вище пористість (менше середня густина) матеріалу, тим нижче теплопровідність. Зі збільшенням вологості матеріалу теплопровідність різко зростає, при цьому знижуються його теплоізоляційні властивості. Тому всі теплоізоляційні матеріали зберігають у приміщенні або під навісом, а в теплоізоляційної конструкції захищають від попадання вологи покривним шаром.

Теплоємність - здатність матеріалу при нагріванні поглинати теплоту. Теплоємність визначається відношенням кількості теплоти, до відповідної зміни температури:

$$C = \frac{Q}{T}, \quad (1.1)$$

де C — теплоємність тіла, Дж/К;

Q — кількість теплоти, Дж;

T — зміна температури при нагріванні тіла, К.

Питомою теплоємністю називається відношення теплоємності до маси тіла:

$$c = \frac{c}{m} \quad (1.2)$$

де c - питома теплоємність тіла, Дж/(кг·К);

m – маса тіла, кг.

1.1.4 Теплостійкість

Теплостійкість - здатність матеріалів зберігати свої основні властивості при впливі позитивних (температуростійкість, температуростійкість, теплостійкість) або негативних (крихкість, морозостійкість) температур.

Температуростійкість (гранична позитивна температура застосування) - здатність матеріалу зберігати свої властивості (структуру, міцність, теплопровідність) при підвищеній температурі.

Спосіб визначення температуростійкості теплоізоляційних матеріалів залежить від їх форми і структури. Так, температуростійкість мінеральної вати (пухкого волокнистого матеріалу) визначають спеціальним приладом, що являє собою циліндр з кришкою у вигляді поршня заданої маси.

Теплостійкість - здатність теплоізоляційних матеріалів витримувати без зміни структури та руйнування періодичні коливання температури. Теплостійкість вимірюється числом теплзмін, тобто числом різких змін, які впливають на матеріал температури, яка, як правило, буває нижче температури застосування. Наприклад, гранична температура застосування мінеральної вати 700 °С, теплостійкість ж її значно нижче і залежно від числа теплзмін може знижуватися до 200 °С. При різкому коливанні температур матеріал руйнується за рахунок виникаючих у ньому внаслідок швидкого нагрівання та охолодження внутрішніх напружень і, отже, нерівномірного нагрівання матеріалу по всій його масі.

Морозостійкість - здатність матеріалу в насиченому водою стані витримувати багаторазове поперемінне заморожування і розтаювання без ознак руйнування. Вода, що знаходиться в порах матеріалу, при замерзанні збільшується в об'ємі, і утворений лід тисне на стінки пор матеріалу. При цьому в матеріалі виникають

великі внутрішні напруження, які поступово руйнують його. Морозостійкість визначають на зразках-кубиках, вирізаних з жорстких матеріалів. Зразки занурюють у воду, витримують до повного насичення, а потім піддають поперемінному заморожуванню при температурі -20°C в морозильній камері протягом шести годин і відтаюванні при кімнатній температурі протягом п'яти годин. Число циклів змінного заморожування і відтавання, яке має витримати матеріал без руйнування, характеризує його морозостійкість.

Атмосферостійкість матеріалів - здатність гідроізоляційних матеріалів витримувати коливання температури навколишнього середовища від мінусової до плюсової і навпаки. Цю величину вимірюють коефіцієнтом атмосферо стійкості K_a . Цей коефіцієнт не повинен бути менше 0,9 для надземних і 0,7-0,5 для підземних і гідротехнічних споруд.

1.1.5 Вологість и водопоглинання

Тепло- та гідроізоляційні матеріали не бувають абсолютно сухими, так як вбирають вологу з навколишнього повітря (сорбційна вологість) або при безпосередньому зіткненні з нею (за рахунок водопоглинання). Із зволоженням теплоізоляційних матеріалів різко зростає їх теплопровідність, а отже, погіршуються теплозахисні властивості цих матеріалів і конструкцій.

Вологість — вміст води в матеріалі. Вологість W (%) матеріалу обчислюють за формулою [2]:

$$W = [(m - m_i) / m_i] 100, \quad (1.3)$$

де m - маса матеріалу в природному стані (вологого), г;

m_i - маса матеріалу, висушеного до постійної маси, м.

Водопоглинання - здатність матеріалу вбирати і утримувати в своїх порах вологу при безпосередньому зіткненні з водою (наприклад, при зануренні). Водопоглинання теплоізоляційних матеріалів характеризується кількістю води, яку поглинає сухий матеріал при витримці у воді, віднесеним до маси сухого матеріалу. Водопоглинання (%) обчислюють за формулою

$$W_{\Pi} = [(m_2 - m_1)/m_1]100, \quad (1.4)$$

где m_1 — маса матеріалу у сухому стані, г;

m_2 — маса матеріалу в насиченому водою стані, г.

1.1.6 Паропроникність, водонепроникність, водостійкість

Паропроникність - здатність матеріалів пропускати водяні пари, що містяться в повітрі, під дією різниці їх парціальних тисків на протилежних поверхнях шару матеріалу.

Парціальний тиск водяної пари з підвищенням температури зростає. Таким чином, водяні пари прагнуть потрапити в область меншого тиску, тобто на сторону шару матеріалу з меншою температурою. Цим пояснюється зволоження ізоляції. Волога, проникаючи в шар ізоляції з теплового боку, зволожує ізоляцію, а при температурі нижче нуля замерзає. Це викликає погіршення властивостей ізоляції і її руйнування.

Паропроникність характеризується коефіцієнтом паропроникності, який визначається кількістю водяної пари в мг, що проходять через шар матеріалу площею 1 м^2 , товщиною 1 м протягом 1 год при різниці тисків водяної пари на протилежних поверхнях шару $133,3 \text{ Па}$ (1 мм рт. ст.). Розмірність цього коефіцієнта - $\text{мг}/(\text{Па} \cdot \text{м} \cdot \text{год})$

Як було сказано вище, при обладнанні теплоізоляційної конструкції важливо захистити теплоізоляційний матеріал від зволоження. У цьому зв'язку важливо знати такі властивості покриття теплової ізоляції, як водонепроникність і водостійкість. Ряд теплоізоляційних матеріалів також володіють цими якостями.

Водонепроникність - здатність покриттів теплової ізоляції або самого теплоізоляційного матеріалу не пропускати воду під впливом гідростатичного тиску. Водонепроникність характеризується часом, протягом якого зразок не пропускає воду при постійному гідростатичному тиску, або гідростатичним тиском, витриманим зразком протягом певного проміжку часу. Гідростатичний тиск (в м або

мм) вказується в нормативно-технічному документі на випробовуваний матеріал або конструкцію [3].

Водостійкість - найважливіша властивість покриттів теплової ізоляції не втрачати свої властивості в результаті поглинання води. Так, при впливі води деякі мастичні матеріали набухають і руйнуються, листові матеріали - відшаровуються або розшаровуються. Водостійкість (набухання), яка вимірюється у відсотках за об'ємом, не повинна перевищувати для гідротехнічних споруд 0,5%, для покрівлі - 1,5%.

1.1.7 Хімічна і біологічна стійкість

Теплоізоляційні і покривні матеріали можуть руйнуватися під впливом хімічних і біологічних факторів.

Хімічна стійкість - здатність матеріалів протистояти руйнівній дії лугів, кислот, розчинених у воді солей і газів, бензинів, масел та ін. Багато теплоізоляційні матеріали не володіють цією властивістю. Наприклад, пінополістирол стійкий до води, більшості кислот, лугів та спирту, але розчинний в бензині, бензолі, мінеральних маслах і ефірі. Хімічну стійкість теплоізоляційних матеріалів в конструкції можна збільшити, встановивши захисне покриття з штукатурки, плівки, різних листових матеріалів, труб тощо.

Покривні матеріали повинні бути кислотостійкими при рН не нижче 2,0 для надземних споруд і 5,5-6,0 - для гідротехнічних та покрівлі, лугостійки при рН не більше 12 в залежності від призначення матеріалу. Сульфатостійкість і магнезіальна стійкість визначаються кількістю солей (мг), розчинених у літрі води, яке не повинно перевищувати певних величин, що встановлюються для матеріалів залежно від виду ізолюються споруди.

Біологічна стійкість - властивість матеріалів і виробів довготривало чинити опір руйнівній дії грибків і бактерій.

Органічні теплоізоляційні матеріали або неорганічні на органічних зв'язках під дією температурно-вологісних факторів можуть руйнуватися внаслідок розвитку в

них мікроорганізмів, що викликають гниття і руйнування в процесі експлуатації. Торф'яні теплоізоляційні плити при підвищених температурі і вологості руйнуються під дією грибків, а мінераловатні плити на крохмальної зв'язці в умовах зволоження покриваються грибковою цвільлю.

Щоб підвищити біологічну стійкість матеріалів, в них вводять спеціальні хімічні речовини - антисептики. У процесі транспортування, зберігання, монтажу матеріали повинні бути захищені від зволоження.

1.1.8 Стиснення, пружність, гнучкість і ущільнення

Стиснення (залишкова деформація стиснення) - здатність матеріалу під дією зовнішнього навантаження змінювати свій об'єм, а після припинення дії навантаження відновлювати його.

Стиснення h (%) обчислюють за формулою

$$h = [(H_2 - H_1) / H_0] 100, \quad (1.5)$$

де H_1 — показання індикатора приладу під навантаженням 0,0005 МПа;

H_2 — показання під навантаженням 0,002 МПа;

H_0 — товщина зразка під питомим навантаженням 0,0005 МПа, мм.

Пружність - властивість матеріалу не повністю відновлювати первинну товщину. Пружність h_e визначають на тому ж приладі, що і на стиск і обчислюють за формулою у відсотках [2]:

$$h_e = [1 - (H_3 - H_1) / H_0] 100, \quad (1.6)$$

де H_1 и H_0 — ті ж показники, що і при визначенні стисливості, мм;

H_3 — показання індикатора приладу при повторному навантаженні під навантаженням 0,002 МПа, мм.

Гнучкість - здатність матеріалу зберігати цілісність при його згинанні по циліндричній поверхні. Гнучкість зразка оцінюють по найменшому діаметру валика, на якому при згинанні зразка не будуть виявлені розриви і розшарування його поверхні.

Тріщиностійкість гідроізоляційного покриття характеризується розміром тріщин, який не повинен перевищувати для монолітних конструкцій в залежності від виду споруд 1-5 мм (підземні та надземні відповідно).

1.1.9 Вогнестійкість

Вогнестійкість - здатність матеріалів витримувати без руйнування вплив високих температур (вогню). Теплоізоляційні матеріали по горючості (здатності речовини або матеріалу до горіння) поділяють на групи [4]:

- а) негорючі (вогнетривкі) - матеріали, не здатні до горіння у повітрі;
- б) важкогорючі (вогнестійкі) - матеріали, здатні займатися на повітрі від джерела;
- в) запалювання, але не здатні самостійно горіти після його видалення;

горючі (спалені) - матеріали, здатні самозайматися, а також займатися від джерел запалювання і самостійно горіти після його видалення.

Горючі матеріали можуть бути легко-і вогнетривкими.

1.1.10 Звукопоглинаннятазвукоізоляція

Звукопоглинання - ступінь поглинання звуку матеріалом. Звукоізоляція - ослаблення звуку при його проникненні через огорожувальні конструкції.

Шум - всякого роду звуки, що заважають нормальному сприйняттю корисних звуків або порушують тишу, а також звуки, що роблять шкідливий вплив на організм людини. Одиницею виміру рівня шуму служить децибел (дБ).

Для зниження рівня різних видів шуму застосовують акустичні матеріали, які поділяються на звукопоглинальні і звукоізоляційні. Звукопоглинальні матеріали і конструкції призначені для зниження рівня шуму в приміщенні за рахунок поглинання падаючої на них звукової енергії, тобто в основному для боротьби з повітряним шумом. Звукоізоляційні матеріали і конструкції служать в основному для ослаблення шуму, що передається через огорожувальні конструкції будівель з одного приміщення в інше, тобто для ослаблення ударного шуму і шуму від

вібрацій. Чим більше пористість, тим більше звукопоглинання матеріалу. Матеріали з відкритими сполученими між собою порами краще поглинають звук, ніж дрібнопористі із замкнутими порами. Тому для звукопоглинання використовують перфоровані матеріали зі спеціально передбаченими отворами [5].

1.2 Класифікація теплоізоляційних матеріалів

Теплоізоляційні матеріали в залежності від призначення підрозділяють на ізоляційно-будівельні, які застосовують для утеплення будівельних огорож, і ізоляційно-монтажні - для утеплення трубопроводів і промислового устаткування. Розподіл цей умовний, оскільки деякі матеріали використовують як для ізоляції будівельних конструкцій, так для ізоляції промислових об'єктів.

Теплоізоляційні матеріали класифікують за такими ознаками [6]:

а) Формі і зовнішньому вигляду:

- штучні (плити, блоки, цегла, циліндри, напів-циліндри, сегменти);
- рулонні і шнурові (мати, шнури, джгути);
- рихлі й сипучі (вата, перлітовий пісок та ін.).

б) Структурі:

- волокнисті (мінераловатні, скловолокнисті та ін.);
- зернисті (перлітові, вермікулітові);
- комірчасті (вироби з пористих бетонів, піноскло, пінопласти та інші).

в) Виду вихідної сировини:

- неорганічні;
- органічні;
- композиційні.

г) Середньої щільності:

- на групи і марки, зазначені в табл. 1.1; матеріали, які мають проміжні значення щільності, що не збігаються із зазначеними вище, відносяться до найближчої більшої марки.

д) Жорсткості:

- м'які (М) - стисливість понад 30% при питомому навантаженні 0,002 МПа (мінеральна і скляна вата, вата з каолінового і базальтового волокна, вата з супертонкого скловолокна, плити з штапельного скловолокна);

- напівтверді (П) - стисливість від 6 до 30% при питомому навантаженні 0,002 МПа (плити мінераловатні та із штапельного скловолокна на синтетичному зв'язуючому);

- жорсткі (Ж) - стисливість до 6% при питомому навантаженні 0,002 МПа (плити з мінеральної вати на синтетичному або бітумному зв'язуючому);

- підвищеної жорсткості (ПЖ) - стисливість до 10% при питомому навантаженні 0,04 МПа (плити мінераловатні підвищеної жорсткості на синтетичному зв'язуючому);

- тверді (Т) - стисливість до 10% при питомому навантаженні 0,1 МПа.

е) Теплопровідності:

- клас А - низької теплопровідності - теплопровідність при середній температурі 298 К (25 °С) до 0,06 Вт/(м·К);

- клас Б - середньої теплопровідності-теплопровідність при середній температурі 298 К від 0,06 до 0,115 Вт/(м·К);

- клас В - підвищеної теплопровідності - теплопровідність від 0,115 до 0,175 Вт/(м·К);

є) Горючості [7]:

- негорючі (НГ);

- слабогорючі (Г1);

- помірногорючі (Г2);

- нормальногорючі (Г3);

- сильногорючі (Г4).

Таблиця 1.1 - Класифікація теплоізоляційних матеріалів по середній густині

Позначення групи	Група	Марка	Матеріали
ОНГ	Особливо низької густини	15; 25; 35; 50; 75	мінеральна вата марки 75 і менше; каолінове волокно; пенопоропласти; базальтове скловолокно; спучений перліт; плити мінераловатні, скловолокнисті
НГ	Низької густини	100; 125; 150; 175	мінеральна вата марки більше 75; скляна вата з безперервного скловолокна; плити мінераловатні на синтетичному зв'язуючому;
СГ	Середньої густини	200; 225; 250; 300; 350	вироби совелітові, вулканітові, вапняно-кремнеземисті, перлітоцементні; плити мінераловатні на бітумному сполучному;
Щ	Щільні	400; 450; 500; 600	вироби пенодіатомітові, діатомітові, з пористого бетону; бітумоперліт монолітний

1.3 Застосування ПТМ

ПТМ застосовують у вигляді газонаповнених пластмас, які по фізичній структурі поділяють на три підгрупи:

- комірчасті або пінисті пластмаси (пінопласти);
- пористі пластмаси (поропласти);
- сотові пластмаси (сотопласти).

Пінопластами називають матеріали з системою ізольованих, що не сполучаються між собою комірок, що містять газ або суміш газів, які розділені тонкими стінками. До поропластів відносять матеріали з системою сполучених комірок або порожнин, заповнених газом.

Зазначене розмежування газонаповнених матеріалів умовно, так як в деяких випадках комірчаста і пориста структури утворюються одночасно.

Сотопласти мають регулярно повторювані порожнини правильної геометричної форми. Такі порожнини утворюються при формуванні або литті вихідного пластичного матеріалу без його спінювання. Структура сотопластів близька до структури пористих пластиків, відрізняючись від неї великими розмірами і правильною геометричною формою осередків.

ПТМ досить широко застосовують всюди, де необхідно підтримувати задану температуру, наприклад:

- у будівництві теплоізоляція застосовується для внутрішнього і зовнішнього ізолювання зовнішніх стін будинків, покрівель, підлог і тощо. Завдяки цьому знижується витрата енергії на опалення і кондиціонування;

- у виробництві одягу і взуття. Завдяки теплоізоляційним властивостям одягу людина може без активного руху довгий час перебувати на відкритому повітрі в сильний холод або в холодній воді;

- у корпусах або огорожувальних конструкціях холодильного обладнання, печей. Завдяки теплоізоляції можливо значно знизити витрати енергії на підтримку необхідної температури всередині;

- трубопроводи теплотрас оточують теплоізоляцією для зменшення охолодження або нагрівання переданого теплоносія. Захищають від корозії. Теплоізоляція володіє пароізоляцією (не завжди) і шумозахисними властивостями;

- Ізоляція ємностей, резервуарів, бойлерів;

- Ізоляція трубопровідної арматури, де застосовуються знімні теплоізоляційні конструкції.

1.4 Процеси переносу тепла

Теплота є найбільш універсальною формою енергії, що виникає в результаті молекулярно-кінетичного (теплого) руху мікрочастинок - молекул, атомів, електронів. Універсальність теплової енергії полягає в тому, що будь-яка форма енергії (механічна, хімічна, електрична, ядерна тощо) трансформується в кінцевому рахунку або частково, або повністю в тепловий рух молекул (теплоту).

Розрізняють три елементарних способи перенесення теплоти: теплопровідність, конвекцію і теплове випромінювання [8].

1.4.1 Теплопровідність

Теплопровідністю називається перенесення теплоти (або внутрішньої енергії) при безпосередньому зіткненні тіл з різною температурою.

Внутрішній механізм явища теплопровідності пояснюється на основі молекулярно-кінетичних уявлень; перенесення енергії при цьому здійснюється внаслідок теплового руху і енергетичної взаємодії між мікрочастинками (молекулами, атомами, електронами), з яких складається дане тіло.

Процес теплопровідності нерозривно пов'язаний з розподілом температури всередині тіла. Тому при його вивченні перш за все необхідно встановити поняття температурного поля і градієнта температури.

а) Температура, як відомо, характеризує тепловий стан тіла і визначає ступінь його нагрятості. Так як тепловий стан окремих частин тіла в процесі теплопровідності різний, то в загальному випадку температура t є функцією координат x , y , z і часу τ , тобто

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (1.7)$$

Сукупність значень температури для всіх точок простору в даний момент часу називається температурним полем. Рівняння (1.7) є математичним виразом такого поля. Температура може бути функцією однієї, двох і трьох координат. Відповідно до цього і температурне поле називається одно-, дво- і тривимірним. Найбільш

простий вигляд має рівняння одновимірного стаціонарного температурного поля:

$$t = t(x) \quad (1.8)$$

б) Градієнт температур пояснюється тим, що при будь-якому температурному полі в тілі завжди є точки з однаковою температурою. Геометричне місце таких точок утворює ізотермічну поверхню. Так як в одній і тій же точці простору одночасно не може бути двох різних температур, то ізотермічні поверхні один з одним не перетинаються; всі вони або замикаються на себе, або закінчуються на границях тіла.

в) Теплота мимовільно переноситься тільки у бік зменшення температури. Кількість теплоти, яка переноситься через яку-небудь ізотермічну поверхню в одиницю часу, називається тепловим потоком. Тепловий потік, віднесений до одиниці площі ізотермічної поверхні, називається щільністю теплового потоку.

г) Вивчаючи процес теплопровідності в твердих тілах, Фур'є експериментально встановив, що кількість переданої теплоти пропорційна падінню температури, часу і площі перетину, перпендикулярного напрямку поширення теплоти. Якщо кількість переданої теплоти віднести до одиниці площі перетину і одиниці часу, то встановлену залежність можна записати:

$$q = -\lambda \text{grad} t \quad (1.9)$$

Рівняння (1.9) є математичним виразом основного закону теплопровідності - закону Фур'є. Цей закон лежить в основі всіх теоретичних і експериментальних досліджень процесів теплопровідності.

д) Коефіцієнт теплопровідності. Коефіцієнт пропорційності λ в рівнянні (1.9) називається коефіцієнтом теплопровідності. Він є фізичною властивістю речовини і характеризує його здатність проводити теплоту:

$$\lambda = - \frac{q}{\text{grad } t} = \frac{Q}{F\tau\Delta t/l} \quad (1.10)$$

Значення коефіцієнта теплопровідності являє собою кількість теплоти, що проходить в одиницю часу через одиницю площі ізотермічної поверхні при температурному градієнті, рівному одиниці.

1.4.2 Конвекція

Конвективним теплообміном або тепловіддачею називається процес перенесення теплоти між поверхнею твердого тіла і рідким середовищем. При цьому перенесення теплоти здійснюється одночасною дією теплопровідності і конвекції.

Явище теплопровідності в рідинах і газах, так само як і в твердих тілах, цілком визначається коефіцієнтом теплопровідності і температурним градієнтом. Інакше йде справа з явищем конвекції - другим елементарним видом поширення теплоти. Тут процес перенесення теплоти нерозривно пов'язаний з переносом самого середовища. Тому конвекція можлива лише в рідинах і газах, частки яких можуть легко переміщатися.

За природою виникнення розрізняють два види руху - вільне і вимушене. Вільним називається рух, що відбувається внаслідок різниці щільності нагрітих і холодних частинок рідини в гравітаційному полі. Виникнення та інтенсивність вільного руху визначаються тепловими умовами процесу і залежать від роду рідини, різниці температур, напруженості гравітаційного поля та обсягу простору, в якому протікає процес. Вільний рух називається також природною конвекцією. Вимушеним називається рух, що виникає під дією сторонніх збудників, наприклад насоса, вентилятора та ін. У загальному випадку поряд з вимушеним рухом одночасно може розвиватися і вільне. Відносний вплив останнього тим більший, чим більша різниця температур в окремих точках рідини і чим менша швидкість вимушеного руху.

1.4.3 Теплове випромінювання

Тепловим випромінюванням називається явище переносу теплоти у вигляді електромагнітних хвиль з подвійним взаємним перетворенням - теплової енергії в променисту і назад.

Як відомо, носіями променевої енергії є електромагнітні коливання з довжиною хвилі від малих часток мікрона до багатьох кілометрів. Залежно від діапазону довжин хвиль такі випромінювання відомі під різними назвами: рентгенівські, ультрафіолетові, світлові, інфрачервоні промені, радіохвилі.

З квантової точки зору променистий потік являє собою потік деяких частинок-фотонів, енергія яких дорівнює $h\nu$, де $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - постійна Планка і ν - частота коливань еквівалентного електромагнітного поля. Нагадаємо, що довжина хвилі λ пов'язана з частотою коливань ν співвідношенням $\lambda\nu = c$, де c - швидкість поширення коливань (у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Найбільший інтерес представляють ті промені, виникнення яких визначається тільки температурою і оптичними властивостями випромінюючого тіла. Такими властивостями володіють світлові та інфрачервоні промені, тобто промені з довжиною хвилі приблизно від 0,4 до 800 мкм. Ці промені і називають тепловими, а процес їх розповсюдження - тепловим випромінюванням.

Природа теплових і світлових випромінювань одна і та ж. Різниця між ними лише в довжині хвилі; світлові промені мають довжину хвилі 0,4-0,8, а теплові 0,8-800 мкм. Закони ж поширення, відбиття і заломлення, встановлені для світлових променів, справедливі і для теплових. Тому, щоб краще собі уявити будь-які складні явища теплового випромінювання, завжди закономірно проводити аналогію зі світловим випромінюванням, яке нам більше відомо і доступно безпосередньому спостереженню.

Теплове випромінювання властиве всім тілам, і кожне з них випромінює енергію в навколишній простір. При попаданні на інші тіла ця енергія частиною поглинається, частиною відбивається і частиною проходить крізь тіло. Та частина променевої енергії, яка поглинається тілом, знову перетворюється на теплову. Та частина енергії, яка відбивається, потрапляє на інші (навколишні) тіла і ними поглинається. Те ж саме відбувається і з тією частиною енергії, яка проходить крізь тіло. Таким чином, після низки поглинань енергія випромінювання повністю розподіляється між навколишніми тілами. Отже, кожне тіло не тільки безперервно випромінює, а й безперервно поглинає променисту енергію.

В результаті цих явищ, пов'язаних з подвійним взаємним перетворенням енергії (теплова-промениста-теплова), і здійснюється процес променистого теплообміну. Кількість теплоти, яка віддається або сприймається визначається різницею між кількостями енергії, яка випромінюється і поглинається тілом. Така різниця відмінна від нуля, якщо температура тіл, що беруть участь у взаємному обміні променистою енергією, різна.

При однаковій температурі цих тіл вся система знаходиться в так званій рухомій тепловій або термодинамічній рівновазі. У цьому випадку усі тіла системи також випромінюють і поглинають, тільки для кожного з них надходження променевої енергії дорівнює її витраті [9].

Насправді елементарні види теплообміну не відокремлені і в чистому вигляді зустрічаються рідко. У більшості випадків один вид теплообміну супроводжується іншим. Наприклад, обмін теплотою між твердою поверхнею і рідиною (або газом) відбувається шляхом теплопровідності і конвекції одночасно і називається конвективним теплообміном або тепловіддачею. У парових котлах в процесі перенесення теплоти від топкових газів до зовнішньої поверхні кип'ятільних труб одночасно беруть участь всі три види теплообміну - теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання. Від зовнішньої поверхні кип'ятільних труб до внутрішньої через шар сажі, металеву стінку і шар накипу теплота переноситься шляхом теплопровідності. Нарешті, від внутрішньої поверхні труб до води теплота переноситься шляхом теплопровідності і конвекції. Отже, на окремих етапах проходження теплоти елементарні види теплообміну можуть знаходитися в самому різному поєднанні. У практичних розрахунках такі складні процеси іноді доцільно розглядати як одне ціле.

Так, наприклад, передачу теплоти від гарячої рідини до холодної через стінку називають процесом теплопередачі.

1.5 Перенесення вологи у пористих тілах

В якості досліджуваної системи береться капілярно-пористе тіло, скелет якого є ліофільною речовиною, тобто стінки капілярів і пор сорбують гази, пари і рідини; при цьому може мати місце дифузійно-осмотичний зв'язок сорбуючої речовини зі скелетом тіла.

Така система істотно відрізняється від модельних дисперсних середовищ, що розглядаються класичною теорією фільтрації.

Речовина, яка пов'язується скелетом капілярно-пористого тіла може бути у вигляді рідини, пара, інертного газу, твердої речовини, переохолодженої рідини в залежності від умов тепломасообміну. Залежно від виду зв'язку речовини з тілом температура замерзання рідини змінюється в широких межах. Тому в капілярно-пористих тілах при температурі нижче 0°C завжди є деяка кількість переохолодженої рідини (води).

Необхідно також відзначити, що в більшості випадків пори і капіляри тіла заповнені рідиною або льодом, а частково і парогазовою сумішшю. Для спрощення аналізу нашої системи в якості рідини приймається вода без будь-яких розчинних речовин. Наявність розчинних речовин і рідини змінює процес масопереносу і викликає ряд додаткових ефектів.

Будемо відзначати пароподібну вологу (пар) індексом 1, рідину - 2, вологу у твердому стані (лід) - 3, інертний газ (сухе повітря) - 4 і скелет - 0.

Об'ємна концентрація зв'язаної речовини ω :

$$\omega = \frac{m}{V} = \frac{1}{V} \sum m_i = \sum \omega_i \quad (1.11)$$

де m_i — маса зв'язаної речовини в стані i ($i = 1, 2, 3, 4$);

ω_i — об'ємна концентрація i -тої зв'язаної речовини, яка дорівнює:

$$\omega_i = \frac{m_i}{V} \quad (1.12)$$

Маса всієї зв'язаної речовини m дорівнює сумі мас сухого повітря, пару, рідини і льоду, тобто:

$$m = \sum m_i \quad (1.13)$$

Зазвичай об'єм тіла V змінюється залежно від концентрації ω за лінійним законом. Тому замість об'ємної концентрації ω вводиться відносна концентрація або вологомiсткiсть тіла u :

$$u = \frac{m}{m_0} = \sum_i u_i = \frac{\omega}{\rho}, \quad (1.14)$$

де ρ - об'ємна концентрація скелета тіла, яка обумовлена співвідношенням

$$\rho = \frac{m_0}{V};$$

u_i — відносна концентрація i -тої зв'язаної речовини:

$$u_i = \frac{m_i}{m_0}. \quad (1.15)$$

Якщо об'єм тіла мало залежить від вмісту води, тобто якщо усадкою можна знехтувати ($V = V_0 = \text{const}$), то об'ємна концентрація скелета тіла буде дорівнює щільності абсолютно сухого тіла

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} = \frac{m_0}{V} = \text{const}, \quad (1.16)$$

де V_0 - об'єм тіла в абсолютно сухому стані.

Отже, відносна концентрація u_i і об'ємна концентрація ω_i прямо пропорційні:

$$\omega_i = u_i \rho_0; \quad (1.17)$$

$$\omega = u \rho_0. \quad (1.18)$$

Якщо стінки скелета тіла мало гідрофільні, а зміною щільності рідини мономолекулярного адсорбованого шару можна знехтувати, то кількість води фізико-механічного зв'язку (капілярна вода, лід, пар і повітря) можна визначити за співвідношенням

$$\omega_i' = H_V b_i \rho_i = \rho_0 u_i'. \quad (1.19)$$

Для насиченості пор b_i має місце співвідношення

$$\sum_i b_i = 1. \quad (1.20)$$

Необхідно відзначити, що співвідношення (1.19) не буде справедливим для фізико-хімічно зв'язаної води, тобто $\omega_i' \neq \omega_i$ і $u_i' \neq u_i$. Однак формально можна

прийняти за основу розрахунку концентрацію вологи в будь-якій формі зв'язку формулу (1.19), але тоді величина b_i не визначатиметься ступенем насиченості зв'язаною речовиною (вологодю) пор тіла і співвідношення (1.20) втрачає свою силу. Тільки для типових капілярно-пористих тіл з малою гігроскопічною вологістю можна прийняти рівності $\omega'_i \neq \omega_i$, $u'_i \neq u_i$. Зберігши при цьому співвідношення (1.20).

При молярному (гідродинамічному) русі вологи (рідини, газу, пари) по порах тіла в процесі фільтрації щільність потоку i -тої речовини j_{imol} , К ($m^2 \cdot c$), буде дорівнювати:

$$j_{imol} = \Pi_S \rho_i b_i v_i \quad (1.21)$$

де v_i — середня лінійна швидкість молярного руху i -тої речовини, м/с; Π_S - поверхнева пористість тіла, що дорівнює відношенню площі всіх пор до площі перетину тіла в напрямку, перпендикулярному напрямку вектора j_{imol} .

Ця величина для полікапілярно-пористого тіла дорівнює:

$$\Pi_S = \int_{r_0}^{r_{max}} f_S(r) dr, \quad (1.22)$$

де $f_S(r)$ — диференціальна крива розподілу поверхневої пористості тіла по радіусу пор. Для однорідних тіл поверхнева пористість тіла (просвіт тіла) Π_S наближено дорівнює об'ємній пористості тіла.

Тобто, величина b_i у співвідношенні (1.21) відмінна від величини b_i формулі (1.19), однак за умови $\Pi_V = \Pi_S = \Pi$ вона буде характеризувати ступінь заповнення пор i -тою зв'язаною речовиною.

Отже, можна написати:

$$j_{imol} = \Pi \rho_i b_i v_i. \quad (1.23)$$

Співвідношенням (1.23) можна скористатися для визначення щільності потоку капілярної вологи в монокапілярно-пористому тілі. В цьому випадку $v_2 = v_{2кап}$, де $v_{2кап}$ - лінійна швидкість руху рідини в монокапілярно-пористому тілі під дією капілярних сил [10].

1.6 Основи теплообміну

В даній роботі розглядається схема вимірювання теплопровідності через багат шарову стінку при стаціонарних умовах. Виходячи з цього розглянемо декілька варіантів вимірювання теплопровідності та граничні умови.

Стаціонарною теплопровідністю називають процеси переносу теплоти всередині тіла при сталих у часі температурах і теплових потоках в кожній точці всередині тіла і на його поверхні.

Граничні умови можуть бути задані чотирма способами.

- Гранична умова першого (I) роду. При цій умові вважається відомою температура на поверхні тіла в будь-який момент часу;
- Гранична умова другого (II) роду. Тут задається для будь-якого часу значення густини теплового потоку в кожній точці поверхні тіла;
- Гранична умова третього (III) роду. У цих умовах відомі температура теплоносія (навколишнього тіла середовища) T_m і коефіцієнта тепловіддачі α між поверхнею тіла і теплоносієм. Гранична умова третього роду записується так

$$\alpha (T_m - T_{cm}) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_{cm} \quad (1.24)$$

- Гранична умова четвертого (IV) роду припускає наявність процесу теплообміну тіла з навколишнім середовищем за законом теплопровідності. Вважається, що між тілами є ідеальний контакт і температури дотичних поверхонь однакові. У цьому випадку має місце рівність теплових потоків, що проходять через поверхню зіткнення, тобто

$$\lambda_1 \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_{cm1} = \lambda_2 \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_{cm2} \quad (1.25)$$

1.6.1 Теплопровідність одношарової плоскої стінки

Вихідним рівнянням для аналізу стаціонарної теплопровідності плоскої одношарової стінки є диференціальне рівняння (1.26):

$$\frac{\partial T}{\partial n} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \quad (1.26)$$

Початкове рівняння (1.26) при умовах однозначності буде мати наступний вигляд:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \quad (1.27)$$

Після другого інтегрування отримаємо:

$$T = C_1 x + C_2 \quad (1.28)$$

Тут C_1 і C_2 - постійні, які визначаються з граничних умов.

Так, при

$x = 0$, $T = T_{cm1}$ постійная $C_2 = T_{cm1}$; при

$x = \delta$, $T = T_{cm2}$, звідси $C_1 = (T_{cm2} - T_{cm1}) / \delta$. (1.29)

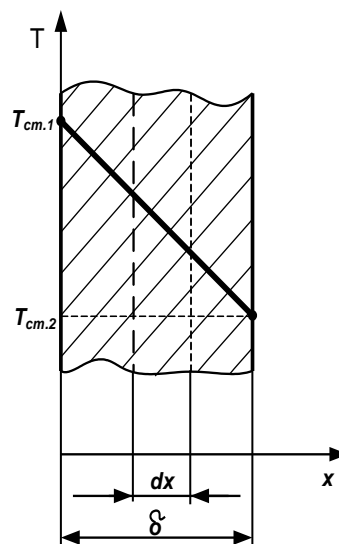


Рисунок 1.1 – Одношарова плоска стінка

Підставляючи значення постійних C_1 і C_2 у вираз (1.28), одержимо рівняння, що встановлює зміну температури по товщині плоскої стінки для випадку $T_{cm1} > T_{cm2}$:

$$T = T_{cm1} - \frac{T_{cm1} - T_{cm2}}{\delta} x \quad (1.30)$$

З рівняння (1.30) випливає, що при постійному коефіцієнті теплопровідності температура в стінці змінюється за лінійним законом; в координатах T_x вона відіб'ється прямою лінією від T_{cm1} до T_{cm2} , (рис 1.1).

Для визначення щільності теплового потоку, що проходить через стінку в напрямку осі x , скористаємося законом Фур'є, згідно з яким

$$\dot{q} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}. \quad (1.31)$$

Замінімо $\partial T/\partial x$ значенням C_1 , отримаємо:

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta} (T_{cm1} - T_{cm2}). \quad (1.32)$$

Аналіз рівняння (1.32) показує, що кількість тепла, яка проходить через одиницю поверхні стінки в одиницю часу, прямо пропорційна коефіцієнту теплопровідності і різниці температур на зовнішніх поверхнях стінки і обернено пропорційна товщині стінки.

Використовуючи рівняння (1.30) і (1.31), отримаємо вираз:

$$T = T_{cm1} - \frac{\dot{q}}{\lambda} x, \quad (1.33)$$

яке встановлює характер розподілу температури по товщині стінки при відомих граничних умовах I і II роду.

1.6.2 Теплопровідність плоскої багатошарової стінки

У теплонапружених конструкціях енергетичних установок часто зустрічаються стінки, що складаються з декількох плоских шарів різних матеріалів і різної товщини. Отримаємо рівняння щільності теплового потоку через багатошарову стінку, вважаючи контакт між шарами настільки щільним, що температура на дотичних поверхнях двох суміжних шарів однакова.

Характерною особливістю поширення теплоти при стаціонарному режимі є те, що щільність теплового потоку не залежить від координати, тобто величина q для будь-якого шару стінки одна і та ж. Рішення поставленої задачі розглянемо на прикладі трьохшарової плоскої стінки (рис. 1.2).

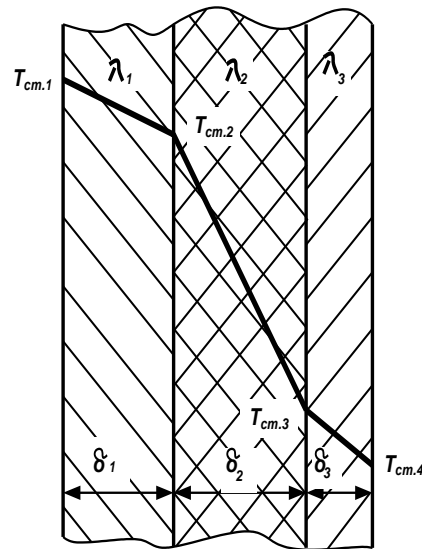


Рисунок 1.2 – Багатошарова плоска стінка

Рівняння густини теплового потоку для кожного шару стінки запишемо аналогічно виразу (1.34) у вигляді системи:

$$\begin{cases} \dot{q} = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (T_{см.1} - T_{см.2}) \\ \dot{q} = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (T_{см.2} - T_{см.3}) \\ \dot{q} = \frac{\lambda_3}{\delta_3} (T_{см.3} - T_{см.4}) \end{cases} \quad (1.34)$$

З цих рівнянь визначимо температурні напори в кожному шарі:

$$T_{см.1} - T_{см.2} = \dot{q} \frac{\delta_1}{\lambda_1}, \quad (1.35)$$

$$T_{см.2} - T_{см.3} = \dot{q} \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad (1.36)$$

$$T_{см.3} - T_{см.4} = \dot{q} \frac{\delta_3}{\lambda_3}. \quad (1.37)$$

Склавши, ліві і праві частини цих рівностей, отримаємо:

$$T_{см.1} - T_{см.4} = \dot{q} \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \quad (1.38)$$

або

$$\dot{q} = \frac{T_{см.1} - T_{см.4}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}. \quad (1.39)$$

Для багат шарової стінки, що складається з n шарів, формула густини теплового потоку буде мати вигляд:

$$\dot{q} = \frac{T_{cm1} - T_{cmn+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (1.40)$$

Для багат шарової стінки з різними коефіцієнтами теплопровідності шарів температурний графік являє собою ламану лінію, (Рис. 1.2).

Для обчислення теплового потоку через одношарову циліндричну стінку (наприклад, трубу) використовується наступне рівняння:

$$\dot{Q} = \frac{l (T_{cm1} - T_{cm2})}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (1.41)$$

де l – довжина труби;

d_1 і d_2 – внутрішній і зовнішній діаметри труби [11].

ВИСНОВОК

Для поліпшення теплоізолюючих властивостей бажано дотримуватися наступних рекомендацій:

- Більш високими теплоізоляційними властивостями володіють пористі матеріали, що мають дрібні замкнуті пори внаслідок зменшення передачі теплоти конвекцією і випромінюванням.

- Зволоження і замерзання води в порах матеріалу веде до різкого збільшення теплопровідності, тому теплоізоляційні матеріали необхідно оберегати від зволоження.

- Температуростійкість оцінюють граничною температурою застосування теплоізоляційного матеріалу. Вище цієї температури матеріал змінює свою структуру, втрачає механічну міцність і руйнується. Граничну температуру застосування теплоізоляційних матеріалів встановлюють (в цілях обережності) дещо нижче значення температуростійкості.

- Теплоємність матеріалу має істотне значення в умовах частих теплозмін. Теплоємність неорганічних матеріалів коливається від 0,67 до - 1кДж / (кг · °С). Зі збільшенням вологості і температури матеріалу його теплоємність підвищується. Тому треба дотримуватися сталої температури.

- Хімічну та біологічну стійкість теплоізоляції підвищують, застосовуючи різні захисні покриття. Високопориста будова теплоізоляційних матеріалів сприяє проникненню в них рідин, газів і пари, що знаходяться в навколишньому середовищі, які, взаємодіючи з матеріалом, руйнують його. Органічні теплоізоляційні матеріали або містять у своєму складі органічні сполучні речовини (крохмаль, клей) повинні володіти біологічною стійкістю. Так як життєдіяльність різних мікроорганізмів можлива у вологому середовищі, основною умовою підвищення біостійкості теплоізоляційних матеріалів є усунення причин, що викликають їх зволоження, а також обробка матеріалів антисептиками.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ

2.1 Спучений перліт

Спучений перліт березівського родовища являє собою сипучий теплоізоляційний матеріал у вигляді дрібних пористих зерен переважно світло-коричневого кольору. Спучений перліт одержують шляхом подрібнення, сортування та випалу магматичних гірських порід - так званих вулканічних стекел. Петрографічною особливістю перліту є скловата структура і здатність розколюватися на кульки, поверхня яких нагадує перли, звідки і пішла назва цієї гірської породи.

2.1.1 Види та властивості

Спучений перліт в теплоізоляційних цілях можна застосовувати в сипучому вигляді і у формі різних виробів з нього. З перліту виготовляють сипучі матеріали - перлітовий пісок і перлітовий щебінь.

Перлітовий пісок може мати різний зерновий склад, що залежить від його призначення: пісок для теплоізоляційних бетонів і штукатурних розчинів більший і важчий піску. Найбільш дрібним і легким повинен бути пісок, який використовують безпосередньо, як теплоізоляційна засипка.

Спучений перлітовий пісок застосовують в розчинах і бетонах, що йдуть для приготування теплоізоляційних виробів, вогнезахисних штукатурок, а також для теплоізоляційних засипок при температурі ізольованих поверхонь від мінус 200 до плюс 800 °С [12,14].

Фізико-механічні показники піску повинні відповідати зазначеним даним в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Фізико-механічні показники перліту

Найменування показника	Марка піску по насипній густині							
	75	100	150	200	250	300	400	500
Теплопровідність при температурі (25+/-5) °С, Вт/(м·°С)	0,043	0,052	0,058	0,064	0,070	0,076	0,081	0,093
Міцність, МПа	Не нормується			0,10	0,15	0,30	0,40	0,60

Пісок в залежності від зернового складу розділяють на групи:

- рядовий - від 0,16 до 5,0 мм;
- крупний - від 1,25 до 5,0 мм;
- середній - від 0,16 до 2,5 мм;
- дрібний - від 0,16 до 1,25 мм;
- пісок - до 0,16 мм.

Фізико-хімічні показники перліту відповідають зазначеним у таблиці 2.2 [13].

Таблиця 2.2 - Фізико-хімічні показники перліту

Властивість	Значення
Розмір часток, мкм	85,42
Точка спалаху, °С	> 110
Нелетких речовин, %	42
Істинна густина, г/см ³	2,10
Уявна густина, г/см ³	0,165
Загальна пористість, %	0,92
Закрита пористість, %	0,47
Відкрита пористість, %	0,45
Середній розмір часток, мкм	40
Питома поверхня, м ² /г	0,87
Кут змочування водою, град.	30
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)	0,043 - 0,093

В даний час спучений перліт широко використовують для виробництва теплоізоляційних виробів. Добавка спученого перліту до мінеральних в'язких

речовин дозволяє отримувати вогнетривкі вироби, що володіють високою жорсткістю і гарними теплофізичними властивостями [14].

2.1.2 Основи технології спученого перліту

Основним технологічним процесом у виробництві перлітових теплоізоляційних матеріалів є випалювання природного перліту, при якому відбувається його спучення.

Представляючи собою склоподібну масу, а не кристалічну речовину, перліт не має певної температури плавлення. При нагріванні він спочатку розм'якшується і стає пластичним, а потім переходить у рідко-плавкий стан подібно звичайному склу. Луги, як відомо, є плавнями. Присутність їх у всякому склі знижує температуру його плавлення. Тому придатна для спучування сировина повинна містити не менше 4% ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$).

Зайву кількість вологи, яка необхідна для спучування, видаляють шляхом попереднього нагрівання сировини до 200-400 °С, в залежності від кількості зайвої вологи. Оптимальна кількість вологи, що забезпечує гарне спучування сировини, рівно 1-3%. Вода, що міститься в перліті в такій кількості, називається «ефективною». Практикою встановлено, що на спучування перлітової сировини впливає і його пористість.

Процес випалу перліту може бути одностадійним і двохстадійним. Двохстадійному випалу піддають лише сировину з зайвою кількістю «ефективною» води. Двохстадійний випал полягає в тому, що спочатку сировину нагрівають до порівняно невисокої температури, яка в залежності від вмісту в перлітовій породі води може коливатися в межах 200-400 °С, тобто сировину підсушують.

При другій стадії випалу, в залежності від властивостей спучуваної сировини, швидко підвищують температуру до 850-1250 °С. Це необхідно тому, що вода яка міститься в перліті майже повністю видаляється при 500-600 °С, а перліт спучується лише при розм'якшенні його, для чого потрібна температура 850 °С і більше. Тривалий нагрів зерен перліту призводить до передчасної втрати води, тобто до

ослаблення головного чинника утворення пор в матеріалі. Разом з цим при нетривалому підвищенні температури приблизно до 1000 °С можна збільшувати пористість спученого перліту за рахунок розширення повітря, що знаходиться в закритих порах перлітової породи.

Обпалюють перліт в шахтних або обертаючихся печах. Обидва типи цих поширених в промисловості печей в даному випадку мають свої конструктивні особливості.

Шахтні печі застосовують для отримання спученого перлітового піску. Обертові печі можуть служити для отримання піску і щебеню з перліту.

Іноді використовують комбіновані теплові установки: перша стадія випалу, тобто підсушка сировини, проводиться в короткій обертовій печі - сушильному барабані, а друга стадія випалювання - спучування здійснюється в шахтній печі [12].

2.2 Гідрофобізований спучений перліт

Гідрофобізований спучений перліт марки Sil-35 виробництва компанії SilbricoCorporation являє собою сипучий теплоізоляційний матеріал у вигляді дрібних пористих зерен переважно світло-коричневого кольору.

Фізико-хімічні показники піску відповідають зазначеним у таблиці 2.2 [15].

Таблиця 2.3 - Фізико-хімічні показники гідрофобізованого піску

Властивість	Значення
Розмір часток, мкм	85,42
Істинна густина, г/см ³	2,10
Уявна густина, г/см ³	0,145
Загальна пористість, %	0,94
Закрита пористість, %	0,43
Відкрита пористість, %	0,51
Середній розмір часток, мкм	65
Питома поверхня, м ² /г	0,54
Кут змочування водою, град.	104
Точка плавлення, F	2300

2.3 Зольні мікросфери

Алюмосилікатні порожнисті мікросфери (зольні мікросфери) утворюються при високо-температурному факельному спалюванні кам'яного вугілля і являють собою порожнисті, майже ідеальної форми силікатні кульки світло-сірого кольору. Вдале сполучення економічних показників з експлуатаційними властивостями, наявність ресурсів (зольні відходи теплових електростанцій), невисока вартість, низька щільність, висока міцність і хімічна стійкість, дозволяють застосовувати зольні мікросфери, як наповнювачі композиційних матеріалів. Таких як полегшені бетони, тампонажні цементи, сухі будівельні суміші, вогнетривкі матеріали, полімерні композиції [16-19]. Склад і властивості зольних мікросфер визначаються видом вугілля, тому необхідно вивчення показників у кожному конкретному випадку [20, 21].

Таблиця 2.4 - Фізико-хімічні властивості зольних мікросфер

Властивість	Значення
Розмір часток, мкм	127,07
Форма частинок	сферична
pH	6,0-7,0
Насипна густина, г / см ³	0,30-0,45
Істинна густина, г / см ³	0,34-0,5
Температура плавлення, °C	1400-1500
Твердість по Моосу	6
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,08-0,20

Одним з перспективних напрямів використання зольних мікросфер є отримання полімерних композиційних матеріалів на основі термопластичних і термореактивних полімерів.

Композити, що містять зольні мікросфери, володіють малою щільністю, низьким коефіцієнтом теплопровідності, звукопровідністю, і широко використовуються при виготовленні різних плавзасобів, меблів, в радіотехніці, для ізоляції теплотрас, для виготовлення дорожньо-розміточних полімерних матеріалів і так далі [18-19].

2.4 Скляні мікросфери

Порожні скляні мікросфери являють собою кульки сірого кольору. Склад скла і майже правильна форма мікросфер забезпечують їх високу міцність при стисненні, низьке водопоглинання, малу теплопровідність, високу хімічну стійкість. Гарна адгезія порожніх скляних мікросфер до полімерних зв'язуючих дозволяє створювати композити на їх основі з унікальним комплексом властивостей. Всі ці фактори визначили велику різноманітність областей застосування скляних мікросфер.

Це міцні порожнисті тонкостінні частинки сферичної форми, витягнуті шляхом переробки зольних відходів електростанцій, або утворюються при термічній обробці вулканічного скла. Мікросфери з природних силікатів перспективні з точки зору можливості широкого застосування, доступності сировини і низької вартості. Це дає можливість отримання композитів із заданою структурою; можливість отримання легких матеріалів з поліпшеними теплоізоляційними властивостями; можливість заміни азбестових матеріалів; заміна дорогих матеріалів.

2.4.1 Властивості

- Висока текучість. Завдяки формі частинок мікросфери, як сипучий матеріал володіють підвищеною текучістю, що забезпечує гарне заповнення форм і витікання з бункерів.

- Компактна укладка частинок. Сфери забезпечують мінімальне відношення площі поверхні до займаного обсягу і найбільш компактну укладку. Коефіцієнт укладання - 60-80% від теоретичної. Форма частинок мікросфер, як наповнювача дозволяє змінювати в'язкість полімерних матеріалів і гум.

- Низька усадка. Мікросфери - один з небагатьох наповнювачів, який може забезпечувати низьку усадку.

- Інертність. Завдяки хімічному складу мікросфери можуть використовуватися в розчинниках, органічних розчинах, воді, кислотах, або лугах без втрати властивостей.

- Термостійкі. Мікросфери не втрачають властивостей до температур, що перевищують 980 °С [22].

Таблиця 2.5 - Фізико-хімічні властивості мікросфер

Властивість	Значення
Розмір частинок, мкм	140,6-381,45
Товщина стінки, мкм	< 2
Склад газової фази всередині сфер :	
CO ₂ , %	70
N ₂ , %	30
Насипна густина, г/см ³	0,32-0,37
Межа міцності на стиск, кг/см ²	150-280
Температура плавлення, °С	< 1300
Коефіцієнт теплопровідності при 20 °С, Вт/(м·К)	0,08

2.5 Диспергатор

Диспергатор в композиції виконує функцію змочувача: він змочує частки пігмента та наповнювача, що дозволяє більш ефективно та з меншими витратами енергії зруйнувати міжчасткові агрегати. Після диспергування він виконує стабілізуючу функцію шляхом адсорбування на поверхні часток, так він зменшує їх поверхневу енергію і стабілізує їх сферично.

В якості диспергатора було використано продукт марки ВУК 154. Він являє собою розчин амонієвої солі акрилового сополімера. До особливостей та переваг можна віднести те, що ВУК-154 збільшує блиск, знижує в'язкість і забезпечує хорошу стабільність в системі. ВУК-154 не стабілізує піну. При умовах зберігання температури нижче 5 °С продукт може стати твердим.

ВУК-154 застосовують у таких напрямках, як архітектурні, промислові, захисні покриття та пігментні концентрати [23].

Таблиця 2.6 - Параметри диспергатора ВУК-154

Властивість	Значення
Точка спалаху, °С	> 110
Густина при 20°С, г/см ³	1.16
Нелетких речовин, %	42
Добавки, % :	
- діоксид титану	1,5-2
- наповнювач	0,5-1
- неорганічні пігменти	2-10

2.6 Латекс

Латекс марки Osakryl OSA 23NM являє собою водну дисперсію зі стирол-акрилового сополімера. Продукт рекомендований в якості сполучної речовини для ґрунтовок, штукатурок і декоративних покриттів. Також його застосовують в композиції із захисними фарбами для внутрішнього і зовнішнього застосування. Цей продукт має низький запах.

У покриттях проявляють дуже хорошу адгезію до різних пористих матеріалів, особливо цементу, цементно-вапняків, пористих поверхонь тощо, а також покращують анти блокуючі властивості. Використовується в якості зв'язуючого в покриттях, сприяє дуже гарному вологому опорі, низькому поглинанні води і гарний опір до лужного середовища.

Після випаровування води при температурі вище плюс 2 °С Osakryl OSA 23NM утворює прозору плівку. Продукт розбавлюється водою і добре змішується з неорганічними наповнювачами та пігментами. З нашого досвіду Osakryl OSA 23NM може бути використаний з більшістю доступної сировини, призначених для продуктів розроблених на водній основі. Зберігати при температурі від 5 до 35 °С [24].

Таблиця 2.7 - Параметри Osakryl OSA 23NM

Властивість	Значення
pH	7,5-8,5
Вміст твердих речовин, %	49±1
Мінімальна температура формування плівки, °C	+2
Температура склування, °C	+6
Середній розмір часток, нм	140

ВИСНОВОК

Одна з основних характеристик теплоізоляційних матеріалів — це їх висока пористість і, відповідно, мала середня густина і низька теплопровідність. Застосування теплоізоляційних матеріалів в будівництві дозволяє знизити масу конструкцій, зменшити споживання конструкційних будівельних матеріалів (бетон, цегла, деревина тощо).

Були виділені наступні підсумки:

- визначені види та властивості спученого перліту, а також основний технологічний процес;
- представлені особливості гідрофобізованого перліту;
- застосування мікросфер;
- виявлені властивості диспергатора;
- визначені властивості Osakryl OSA 23NM.