

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

кафедра металургії
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз технології отримання
теплоізоляційних блоків на основі піноспіню

Виконав: студент II курсу, групи 8.136.9-мкн-3
спеціальності 8.136-металургія
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми металургія
(назва освітньої програми)

Полосорових металів Морозов С.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н. доц. Березина О.Р.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент док. наук професор Д.В. Труцьков
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

20 20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра металургії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 8.136 металургія
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма металургія кольорових металів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 1 » 09 2020 року

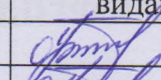
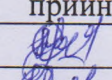
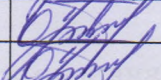
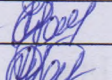
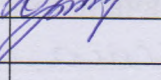
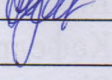
ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Морозуль Сніжані Леонідівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проєкту) Аналіз технології стримання термоелектричних ефектів на основі ніобію
- керівник роботи К.Т.Ч. доц. каф. металургії Березина О.Р.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 9 » 10 2020 року № 1568-с
- Строк подання студентом роботи 01.12.2020
- Вихідні дані до роботи Залежності ТЕС, руда діатоміту, варна в турбулентних умовах.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Загальна характеристика Усталювання і технології стримання ніобію. Властивості ніобію
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Структура сировинних матеріалів. Типи горючих елементів. Основні стадії процесу Т.г турбулентного типу. Характеристичні криві. Режим термічної обробки. Залежність чистоти ніобію. Висновки.

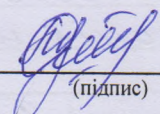
6 Консультанти розділів роботи

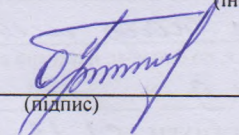
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доцент Березина О.Р		
2	доцент Березина О.Р		
3	доцент Березина О.Р		

7 Дата видачі завдання _____

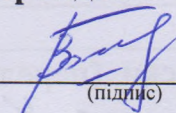
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загальне завдання	01.10.20	
2.	Уточнювальне і технічне експлуатаційне рішення	21.10.20	
3.	Властивості і застосування металографічних конструкцій з'єднання	21.11.20	
4.	Оформлення графічного матеріалу	1.12.20	

Студент  (підпис) С.А. Морозов (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис) О.Р. Березина (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис) Р.М. Воллер (ініціали) та _____ прізвище

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 65 сторінок, 23 рисунків, 5 таблиці, 18 джерел літератури.

ПІНОСКЛО, ТУНЕЛЬНА ПІЧ, ДІАТОМІТ, ВСПІНЕННЕ СКЛО, ГАЗОУТВОРЮВАЧІ, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ СКЛОМАСИ.

Тема магістерської роботи: «Аналіз технології отримання теплоізоляційних блоків на основі піноскла».

У загальній частині представлено властивості сировинних матеріалів та технології підготовки шихти при виробництві піноскла. Достатньо повно розглянута технологія отримання піноскла з діатоміту.

У другій частині представлено способи та устаткування для отримання вспіненого скла на основі діатоміту. Досліджено властивості шихт на основі діатоміту та особливості варіння скла на основі діатоміту, фазові і структурні зміни при термообробці.

В третій частині досліджено властивості та застосування теплозахисних конструкцій з піноскла у будівельних конструкціях.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Історія розвитку і види пористого скла.....	9
1.2 Сировинні матеріали і технологія підготовки шихти у виробництві піноскла.....	12
1.3 Отримання піноскла на основі золи теплоелектростанцій.....	17
1.4 Аналіз технології отримання піноскла з діатоміту.....	19
1.5 Оцінка ринкового попиту піноскла.....	20
2 УСТАТКУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ПІНОСКЛА.....	23
2.1 Загальна структура технології піноскла.....	23
2.2 Способи і устаткування для отримання вспіненого скла.....	25
2.3 Склад і технологія отримання вспіненого скла на основі діатоміту.....	41
2.3.1. Отримання скла з діатоміту.....	41
2.3.2. Отримання піноскла з діатоміту.....	42
2.4 Основні характеристики отриманих зразків піноскла.....	43
2.5 Синтез скла для виробництва спінених ізоляційних матеріалів і дослідження властивостей шихт на основі діатоміту.....	44
2.6 Особливості варіння скла на основі діатоміту, фазові і структурні зміни при термообробці.....	46
2.7 Розробка промислової технології силікатних піно матеріалів.....	49
3 ВЛАСТИВОСТІ І ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПІНОСКЛА.....	52
3.1 Властивості піноскла.....	52
3.2 Корозійна стійкість композицій матриць терпких з наповнювачами з піноскла.....	56
3.3 Застосування пористого скла у будівельних конструкціях.....	59
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	64

ВСТУП

Нині до теплоізоляційних матеріалів пред'являють високі вимоги: вони повинні відповідати усім санітарно-гігієнічним нормам і бути екологічними чистими, бути якісними тепло- і гідроізоляторами; бути здатними зберігати ці показники постійними упродовж тривалого часу.

Будівництво є галуззю, що вимагає постійної модернізації як використовуваних технологій, так і з позицій підвищення ефективності матеріалів, використовуваних при будівництві і експлуатації будівель.

Сучасний ринок утеплювачів дуже різноманітний, але не кожен з них відповідає вищепереліченим вимогам. Основними теплоізоляційними матеріалами використовуваними нині являються різного роду мінеральна вата і пінополістирол. Органічна теплоізоляція на основі пінопластів має низький клас пожежонебезпеки, при горінні виділяє хімічні речовини небезпечні для здоров'я людини, недовговічна. Мінераловатні вироби мають дуже високу міру водопоглинання, а використання органічного єднального різко знижує експлуатаційні властивості. До одного з недоліків таких матеріалів відноситься поступове саморуйнування їх волокон, що так само несприятливо позначається на здоров'ї людини, і призводить до втрати теплоізолюючої здатності.

На ринку сучасних теплоізоляційних матеріалів піноскло унікально і має безперечні переваги перед усіма іншими теплоізоляційними матеріалами. Відноситься до класу негорючих матеріалів, зберігає свої характеристики на усьому періоді експлуатації.

Вироблюване за кордоном піноскло зазвичай чорного або сіро-чорного кольору. Істотним недоліком цього піноскла, що обмежує його застосування в житловому будівництві, є наявність запаху сірководня, щільність отриманого піноскла від 170 до 250 кг/м³, а так само вищі температурні режими отримання такого виду піноскла. Технологія отримання піноскла є наукомісткою і енерговитратною.

Мета роботи: надати аналіз сировинних ресурсів для виробництва піноскла та хіміко-технологічних процесів його виробництва.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести всебічний аналіз сировинних ресурсів та надати оцінку можливості їх використання для отримання піноскла.
2. Надати аналіз хімічних процесів, які забезпечують отримання газоутворюючих продуктів для вспінювання скломаси.
3. Оцінити комплекс обладнання для проведення замкнутого циклу отримання піноскла.
4. Провести аналіз властивостей піноскла та його використання в промисловості.

Об'єкт дослідження: фізико – хімічні закономірності в процесах виплавки та дослідження властивостей піноскла.

Предмет дослідження: технологічні особливості виплавки піноскла з вторинної сировини.

Методи дослідження: структурний аналіз сировинних матеріалів, методологія оцінки температурно – часових режимів плавки піноскла, оцінка його функціональних властивостей.

Наукова новизна:

1. Запропоновано варіант виробництва піноскла на основі золи від теплоелектростанцій.
2. Розроблена технологія виробництва піноскла на основі ділатоміту.
3. Розроблені варіанти температурно – часових режимів виплавки піноскла.

Практичне значення:

1. Розроблені технологічні рішення по виплавці піноскла можуть бути реалізовані в реальному виробництві.

2. Проведено обоснование по використанню піноскла в різних умовах навколишнього середовища.

3. Запропоновано можливість використання піноскла в будівництві.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри металургії.

Відомості про публікації:

Мормуль С.Л. Аналіз технології отримання теплоізоляційних блоків для електролізерів методом просочення/ С.Л. Мормуль, О.Р. Бережна / Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. ІННІ ЗНУ. – Запоріжжя:ЗНУ. – 2020 р. С. 35.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань, викладена на 65 сторінках машинописного тексту, включаючи 23 рисунок, 5 таблиці.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Історія розвитку і види пористого скла

У 30-і роки минулого століття розпочаті інтенсивні роботи і отримані патенти на виготовлення піноскла у багатьох країнах Європи (Франція, Чехословаччина, Англія і Німеччина. У роки другої світової війни дослідження і технологічні роботи були згорнуті всюди за винятком США. Це дозволило Сполученим Штатам в період війни освоїти великотоннажне виробництво піноскла, переважно для потреб військово-морського флоту, а потім на багато років вийти в лідери у виробництві і дослідженнях в цій технології [1].

В результаті планомірних досліджень в Радянському Союзі в 70-і роки працювали чотири заводи по виробництву піноскла. Технологія була добре відлагоджена [2].

Не можна сказати, що про піноскло в той період часу будівельники чули тільки як про якийсь фантастичний матеріал. Загальний об'єм продукції, що випускається, ще на початку 70-х років перевищував 100 тисяч кубометрів в рік, що в той період часу було непоганим показником. Матеріал мав заслужений попит і широко використовуватися в промисловості і будівництві, переважно на особливо відповідальних ділянках.[4]

На жаль, складність підтримки технологічних параметрів, що призводила до невисокого виходу товарного продукту, і висока енерговитратність існуючої технології привели до нерентабельності і закриття в період кризи кінця 80-х років трьох заводів, що знаходилися в Росії. Що єдиний, що функціонує на сьогодні із заводів, що існували в колишньому Радянському Союзі, знаходиться у Білорусії - в Гомелі і успішно працює і нарощує обсяги випуску піноскла.

Стекло - усі аморфні тіла, що отримуються шляхом переохолодження розплаву, незалежно від їх хімічного складу і температурної області твердіння, і що володіють, в результаті поступового збільшення в'язкості,

механічними властивостями твердих тел. Процес переходу з рідкого стану в склообразное має бути оборотним.

Стекла класифікуються:

1. За походженням:

1) Природні

2) Штучні:

- органічні,

- неорганічні.

Неорганічні стекла можна класифікувати залежно від типу склообразуючого оксиду :

- силікатні (SiO_2),

- алюмосилікатні ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)

- боросилікатні ($\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)

- бороалюмосилікатні

- алюмофосфатні ($\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$)

2. За призначенням:

1) Архітектурно-будівельне (листова будівельний декоративне, облицювальне, тепло - і звукоізоляційне, меблеве скло)

2) Тарне (банки)

3) Сортове (художнє, вироби із скла)

4) Технічне (хіміколабораторное, очкова оптика)

5) скло-осветительная арматура

6) декоративне скло.

Демидович Б.К. у своїх монографіях [1,2] приводить характеристики різних видів піноскла, що випускалися або планувалися до випуску в Радянському Союзі. Це піноскло вологозахисне, будівельне, декоративне, акустичне і гранульоване.

З конструкційної точки зору матеріал може випускатися в трьох видах, що принципово відрізняються : блоках (чи плитах), гранулах (будівельний пісок або гравій) і безформних шматках (будівельний щебінь). При цьому

властивості піноскла, як матеріалу, залишаються практично однаковими для усіх типів виробів.

Різновиди комірчастого скла (піноскла) : ізоляційно-будівельне, вживане для утеплення конструкцій будівель, що захищають; ізоляційно-монтажне, вживане для теплової ізоляції устаткування і установок помірною і глибокого холоду, промислових установок, теплопроводів з робочою температурою до 400°C; вологозахисне, водопоглинаюче, що характеризується, за 360 діб не більше 1,8% за об'ємом; спеціального призначення (бесщелочное) і висококремнеземисте, таке, що застосовується високою міцністю, термостійкістю, радіопрозорістю (температура застосування до 600 °C, для бесщелочного пористого скла і до 1200°C для висококремнеземистого); акустичне (звукопоглинальне); що фільтрує, що характеризуються дрібною пористістю, що повідомляється.[4]

Якщо звукопоглинальне і таке, що фільтрує комірчасте скло повинно отримувати дрібнопористу структуру з рівномірно розподіленими порами замкнутого типу. У таблиці 1.1 представлені деякі властивості різних типів комірчастого скла [4].

Характер пористої структури вспененого стекла напрямлено змінюють шляхом зміни хімічного складу сировини, підбору газообразователя, його дисперсності і расхода, а также за допомогою зміни режиму спікання, впливаючи на інтенсивність газорозкладання і показники (в'язкість) реологій вспениваемой скломаси.

Таблиця 1.1 - Типи і основні характеристики комірчастого скла

Показник	Типи комірчастого скла			
	ізоляційно-будівельне	ізоляційно-монтажне	безлужне	вологозахисне
Середня щільність	130 - 250	130 - 160	350 - 500	140 - 180
Теплопровідність при 0 °С, Вт/(м·°С)	0,06 - 0,087	0,053 - 0,07	0,1 - 0,125	0,06 - 0,07
Міцність, МПа: при стискуванні	0,8 - 2,0	0,5 - 0,8	3 - 5	0,6 - 0,9
при вигині	0,5 - 1,0	0,3 - 0,4	1,0 - 1,5	0,4 - 0,6
Температура застосування, °С	400	от 400 до -160	600	-

Середня щільність піноскла регулюється зміною температури і часу вспенивання, підбором газообразователя, мірою дисперсності порошків скла і газообразователя. Залежність уявної щільності від температури спінювання для різних газообразователей і від тривалості спучення, а також від дисперсності шапти [4].

1.2 Сировинні матеріали і технологія підготовки шихти у виробництві піноскла

Основні властивості: до складу скла входять оксиди лужних металів і лужноземельні метали, оксиди кремнію. До основних матеріалів відносять:

1. Матеріали для введення оксиду кремнію зі змістом 75% : використовують кварцевий пісок, жильний кварц, гірський кришталь. Згідно з вимогами, що пред'являються до кварц матеріалам, що містять, вони не

повинні містити сторонніх домішок, т. е. оксидів заліза, титану, вони забарвлюють скло. Є одне родовище кварцевого піску - Лоевское, придатне тільки для виробництва тарного скла.

2. Матеріали, які використовуються для введення оксиду алюмінію :

а) глинозем, в нім 9,5% оксиду алюмінію. Це продукт переробки бокситних груп.

б) нефеліновий сієніт - продукт переробки нефеліноапатитових руд,

в) пегматит - 25% оксиду кремнію,

г) польовий шпат буває натрієвий, калієвий,

д) каолін, але використовується рідко.

3. Матеріали для введення лужних і лужноземельних оксидів:

а) оксид натрію,

б) сода,

в) сульфати натрію.

Використовують кальциновану, тобто безводу соду. Сировиною для введення оксиду калію служать поташ, селітра. Для введення оксиду кальцію, магнію: крейда, вапняк, доломіт, магнезит. Для введення оксиду бору: борна кислота.

Допоміжні сировинні матеріали - ті, які сприяють варінню скла або надають склу певні властивості (забарвлюють). Є освітлювачі, обесцвечувачі, барвники, глушники, окисники, відновники.

Освітлювачі - речовини, які сприяють видаленню газів, що містяться в розплаві а) Na_2SO_4 , б) амонійні з'єднання. Розкладаються при збільшенні температури з утворенням газу, гази вивлекають з собою газові включення. Обесцвечувачі - виділ. физ. і химич. Химич. обесцвечувачі- переводять оксид заліза з 2х валентної форми в 3х валент, і збільшується прозорість скла. а) оксид церію, б) оксид миш'яку, в) селітра - сильний окисник.

Фізичні обесцвечувачі: оксиди марганцю, кобальту, нікелю, селен металевий.

Барвники:

1. іонно-молекулярні,
2. колоїдні.

При введенні іонно-молекулярних барвників колір скла залежить від концентрації оксидів металів змінної валентності (залоза, хрому -зелений колір, кобальт - синій, нікель з кобальтом - сірий, церій- золотий). Залежить не лише від концентрації, але і від режиму термічної обробки скла.

Глушники - втрачають прозорість (флюорит CaF_2 , Na_2AlF_6 , CaP , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Окисники - виділяють O_2 (миш'як, селітра). Відновник (вугілля, мазут).

Обробка сировинних матеріалів проводиться в підготовчому відділенні складеного цеху. Матеріали поступаючи в складений цех зберігаються на окремих технологічних лініях. Норма запасу сировини на складі складає від 15 до 90 днів, у бункерах на технологічних лініях від декількох годин до декількох діб.

Технологія підготовки кварцевого піску : збереження на складі, сушка, просів, зберігання у бункерах. Устаткування буває основне і допоміжне.

Сушка піску здійснюється у разі, якщо його вологість перевищує 5%. Для сушки використовують сушильні барабани і сушарки киплячого шару. Сушка здійснюється при температурі 750-780 °С. Залишкова вологість не більше 1,5%. Важливо витримати температурний режим. Для просева застосовують в основному виброгрохоты і барабанні грохоты. Розмір сита для кварцевого піску №8 температура кварцевого піску на виході з сушарного барабана 100 °С.

Підготовка мела і доломіту: збереження на складі, сушка, помел, просев, зберігання у бункерах.

Устаткування для дроблення - щічна дробарка, для помелу - роторна або молоткаста дробарка. Сушку матеріалу виконують при температурі не більше 450 °С. Мів і доломіт вимагають сушки, якщо вологість перевищує 1 %. Просев проводять на ситах з сіткою для крейди №1,1, для доломіту № 9.

Пегматит і польовий шпат - технологія підготовки : для польового шпату потрібна сушка і просев. Температура сушки - 450 °С, № сита - 0,7. У випадку, якщо польовий шпат приходить в кусковому виді, його дроблять, потім сушать, потім змізерніють. Це пов'язано з тим, що в сухих матеріалах менше питома поверхня. Також використовують аеробільні млини.

Технологія підготовки соди, поташу (K_2CO_3), селітри: збереження на складі, дроблення при злежуванні (протирання для селітри), просев, зберігання у бункерах.

Для дроблення використовують дезинтегратори і молоткасті дробарки, оскільки матеріал м'який. Просев здійснюють на ситах з сіткою №1,1 (для поташу, соди) для селітри не використовують.

Підготовка скляного бою : збереження на складі, сортування (за кольором), магнітна сепарація, промивання, сушка, дроблення і помел, зберігання у бункерах.

Шихтою називають суміш заздалегідь підготовлену і відважену по заданому складу сировинних матеріалів.

Вимоги пред'являються до шихти:

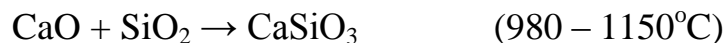
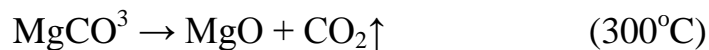
- 1) шихта має бути однорідною по хімічному і гранулометричному складу;
- 2) не повинна грудкувати, розшаровуватися і злежуватися;
- 3) паступая на варіння зволоженої з вологістю 4 - 4,5%.

Підготовка шихти здійснюється в дозувальному відділенні змішувача підготовчого цеху. Шихта схильна до розшарування і для того, щоб вона добре зберігалася, була однорідною по хімічному складу, шихту зволожують. Вологість шихти має бути в межах від 3 до 4,5%. До складу шихти вводять компоненти (сода), здатна утворювати кристалогідрати. Для їх освіти шихту підігрівають. Стійка тільки $Na_2CO_3 \cdot H_2O$. Зволожують шихту в змішувачах $t > 35$ °С. Машини для перемішування компонентів шихти використовують:

- 1) періодического дії (недолік усього устаткування це високе пыление)
- 2) безперервних дії (лопатеві змішувачі)

Варіння - термічний процес, в результаті якого суміш різнорідних компонентів утворює однорідний розчин. Стадій процесу скловаріння : силікатоутворення; склоутворення; освітлення; гомогенізація, студка. На етапі силікатоутворення утворюються різні силікати і інші проміжні з'єднання, з'являється рідка фаза за рахунок плавлення з'єднань, що утворилися. До кінця етапу шихта утворює міцний спік. Закінчується етап при $t=950-1150$ °С. Використовують 2 типи шихт: содова і сульфатна ($>25\%$ від необхідної кількості NaO вводиться Na_2SO_4).

У шихті при її нагріванні відбуваються наступні процеси:



Склоутворення - в розплаві відбувається розчинення силікатів і кварцу, що не прореагував. При температурі 1250 °С стадія закінчується.

Освітлення - видалення з розплаву газових включень при $T=1500-1600$ °С етап завершується.

Гомогенізація - розплав усереднюється по хімічному складу. Освітлення і гомогенізація протікають одночасно.

Студка - скломаса охолоджується для формування до температури 1150-1350 °С.

1.3 Отримання піноскла на основі золи теплоелектростанцій

Теплоелектростанції щорічно використовують до 300 тис. т вугілля, зольністю 15.17 %; кількість золошлаков, що скупчуються на полігонах, складає близько 50 тис. т в рік, що вимагає нових площ для складування, тому питання переробки цього виду відходів залишаються актуальними [5].

Досліджувані золошлакові відходи є полідисперсною сумішшю. Частки дрібнозернистої частини відходів (рис. 1.1) включають зерна неправильної гострокутної форми, а також гладкі мікросфери розміром від 2 до 10 мкм. Розмір більших зерен, присутніх у вигляді сплавлених агломератів, в середньому складає 50 мкм.

Фізичні властивості золошлакових сумішей, такі, як насипна і істинна щільність, гранулометричний склад, багато в чому визначаються видом палива, режимом його спалювання, способом уловлювання, а також місцем відбору. Приведені в таблицю 1.1 дані показали, що суміш на 61,5 % представлена зольною складовою (частки золи і шлаку розміром менше 0,315 мм) і шлаковим піском (зерна розміром 0,315-3 мм); по значеннях істинної щільності суміш відноситься до щільних композицій, що утворюються в топках з рідким шлакоудаленням (щільність зерен більша 2000 кг/м³).

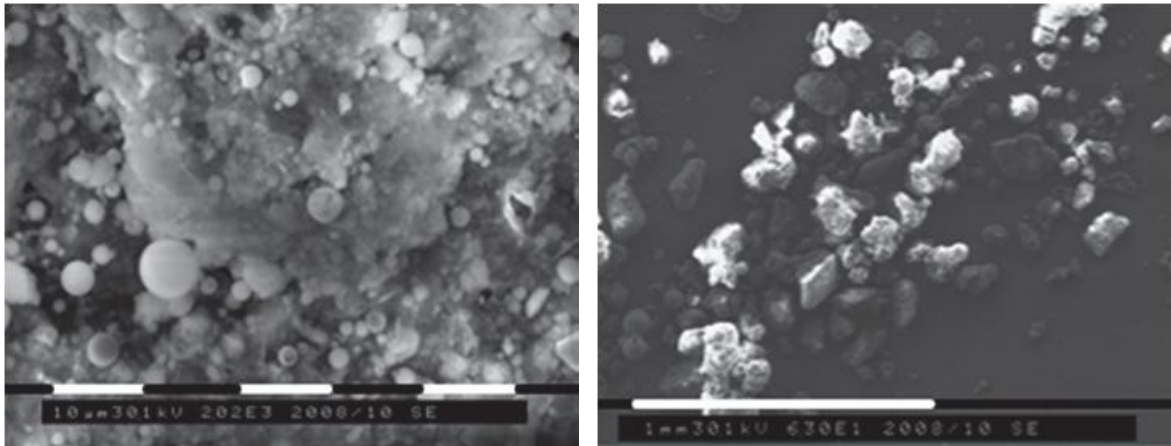


Рисунок 1.1 - Мікрофотографії золошлакових відходів ТЕС

Склад досліджуваної суміші відрізняється відносно низьким вмістом оксиду кальцію, високим вмістом кремнезему і середнім змістом оксиду алюмінію. По співвідношенню кислотних і основних оксидів досліджувані золошлаки відносяться до кислих (модуль кислотності 13,4), по модулю гідросилікату і кремнеземного - до групи інертних паливних відходів, які можуть застосовуватися в якості сировини для виробництва цеглини, зольного гравію і техногенного ґрунту [1].

За даними рентгенофазового аналізу мінеральний склад золошлакових сумішей представлений на дифрактограмі аморфною і кристалічною фазою у вигляді термічно стійкого мінералу початкового палива - кварцу і кристалічного алюмосиліката кальцію, що утворюється при спалюванні палива.

1.4 Аналіз технології отримання піноскла з діатоміту

Основною сировиною для варіння скла є кварцеві піски, дефіцит яких для потреб скляної промисловості складає 3,6 млн. т, тому використання їх для отримання скляної фрیتی - сировини для виробництва піноскла, є недоцільним.

У зв'язку з цим гостро встає питання про залучення нових недефіцитних видів сировини. Досліджуючи властивості опал кристобалітових порід можна запропонувати їх в якості основи при виготовленні скла для піноскляного виробництва.

Основною перевагою опал кристобалітової сировини є високий вміст аморфної фази діоксиду кремнію (до 70 % аморфного SiO_2), а також наявність в його складі інших стеклообразуючих і модифікуючих оксидів. Це дозволяє використовувати опал кристобалітові породи як основну сировину при виробництві скляної шихти. Крім того, температура плавлення кремнезему опал кристобалітових порід нижчий (1500–1550 °С), чим температура плавлення кварцу (1713 – 1728 °С), що дозволяє знижувати температуру варіння скла.

З усіх представників опал кристобалітової групи діатомити є найбільш перспективною сировиною для скляної промисловості, оскільки мають найбільш стабільний хімічний склад (див. рис. 1.2) У зв'язку з цим нами була вивчена можливість застосування діатоміту в якості основного компонента при виробництві піноскла.

Діатоміт, використовуваний в ході досліджень, містить значну кількість склоутворюючого оксиду – SiO_2 (до 83 %), а також до 6 % Al_2O_3 і деяка кількість модифікаторів (Fe_2O_3 , R_2O , RO). Відносно низький вміст SiO_2 (менше 95 %), в порівнянні з кварцевим піском, компенсується тим, що переважаючою фазою є аморфний опал, більше реакційноздатний, ніж кристалічний SiO_2 .

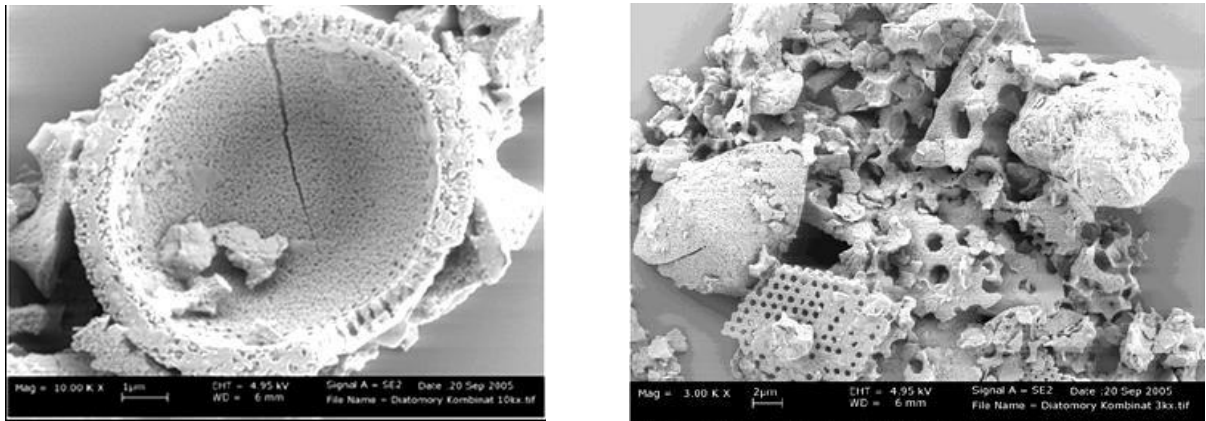


Рисунок 1.2 - Електронно-мікроскопічні знімки діатоміту

1.5 Оцінка ринкового попиту піноскла

Ринок теплоізоляторів і теплозахисту дуже різноманітний, і можна виділити декілька ключових сегментів.

Використання теплоізоляторів при будівництві будівель. Ринок будівельних матеріалів складає зараз близько 60 мільярдів доларів США і розвивається в середньому із швидкістю 10% в рік. Законодавчо вводяться нові "будівельні норми і правила" (СНиП), вимоги, що підвищують, до ефективності теплоізоляції житлових і виробничих конструкцій. Витрати на опалювання збільшуються із швидкістю 20-30% в рік. Усе це створює зростаючу необхідність у використанні ефективних теплоізоляторів і систем теплозахисту. За різними експертними оцінками, ринок теплоізоляторів у будівництві складає порядку \$2 мільярдів, а його доля у будівельному ринку продовжує рости.

Теплоізолятори широко використовуються для теплозахисту теплотрас і трубопроводів. При цьому ефективність теплозахисту має принципове значення і дозволяє істотно зберігати ресурси.

Існує високий попит на теплоізолятори, ефективно працюючі в специфічних умовах, для теплозахисту різних об'єктів і пристроїв :

енергетичні установки, підводні човни, холодильники, двигуни, агрегати і машини, працюючі при високих і низьких температурах.

Також специфічним сегментом ринку теплоізоляції, на якому існує великий попит, є ринок ефективних світлопропускаючих теплоізоляторів для вікон, прозорих дахів і стін.

Параметри і переваги "вакуумного піноскла" такі, що воно може бути застосоване і конкурентоздатне в капітальному будівництві приватних котеджів і промислових споруд, для утеплення агрегатів, працюючих при температурах від -200°C до $+500^{\circ}\text{C}$ (наприклад, холодильники і кожухи моторів), в хімічно-агресивних середовищах, в харчовій промисловості, у будівництві дитячих і медичних установ, тобто в умовах з найвищими вимогами по пожежній і екологічній безпеці. "Вакуумне піноскло" може використовуватися для завдань утеплення фундаментів будівель і доріг, що знаходяться в районі вічної мерзлоти, - для запобігання просіданню конструкцій внаслідок танення мерзлоти. Важливою характеристикою "вакуумного піноскла" буде його висока здатність пропускати світло, що робить можливим використання "вакуумного піноскла" в якості теплозахисних світлопропускаючих стін, дахів теплиць і інших будов.

Слід зазначити що, попит на теплоізоляторы у більшості розвинених країнах Європи, Америки і Азії дуже високий, що пояснюється високою вартістю енергоносіїв у більшості розвинених країн. Тому розробка новітніх технологій і впровадження ефективних теплоізоляторів і систем теплозахисту представляє стратегічний інтерес.

Нестача ефективних, екологічно чистих теплоізоляторів призводить до високої втрати теплоресурсов. Близько 30% річного споживання первинних паливно-енергетичних ресурсів в розвинених країнах йдуть у втрати тепла, при експлуатації житлових і виробничих будівель. Через стіни жител втрачається до 45% тепла, через віконні і дверні отвори - 33%, через горища і поли - 22% теплової енергії.

Більше 60% усіх утеплювачів, що випускаються, світі відносяться до високоефективних минераловатним теплоізоляторам, випуск яких безперервно росте. Приблизно п'яту частину в структурі попиту займають матеріали з різних спінених полімерів. Поширені в недавньому минулому стекловатные утеплювачі складають сьогодні менше 10% ринку.

2 УСТАТКУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ПІНОСКЛА

2.1 Загальна структура технології піноскла

Піноскло - високопористий матеріал, що складається з безлічі осередків шарообразующей або шестигранної форми.

Властивості: щільність 120-16 кг/м³, міцність 0,7-1,5 МПа, теплопровідність 0,055-0,07 Вт/м·К.

Піноскло отримують за наступною технологією:

- 1) введення до складу шихти речовин, що викликають щедру піноутворення в процесі варіння скла,
- 2) отримання скла пронизуванням розплаву скла повітрям або іншими газами,
- 3) отримання піноскла під вакуумом,
- 4) спінювання подрібненого скла піноутворюючими речовинами з подальшою фіксацією структури випалення,
- 5) отримуємо спіканням суміші порошкоподібного скла і газоутворювача.

Сировинні матеріали виробництва піноскла : скло, газоутворювача. Для виготовлення піноскла використовують відходи скляного виробництва або спеціально наварене скло. Якщо використовують відходи скла, то їх заздалегідь готують відповідно до схеми: бій скла, відходи скла → дроблення (щічні дробарки) → миття (бомойки) → сушка (сушарні барабани) → подрібнення (молоткасті дробарки) → обогачення (магнітний сепаратор) → збереження на складі.

Переважає використовувати бій тарного і віконного скла. Якщо скло наварюють, то використовують стекловарочные печі. Особливістю технологічного варіння скла є те, що немає необхідності освітлювати і гомогенізувати масу, що збільшує продуктивність. При варіння скла температура складає 1450-1470 °С. Температура вироботки 1370-1350 °С. Відмітною особливістю є відсутність вироботочної частини.

Газоутворювач використовують вуглецевий, а також карбонатний. У технології піноскла застосовують антрацит (до 2%), кокс металургійний (2-3%), саджаю (не > 0,5%), крейда і мармурова крихта (1,5%). Газообразователь заздалегідь змізернюють (валкові і молоткові дробарки).

Технологічна схема виробництва піноскла порошковим способом.

Шихту готують в кульових млинах до питомої поверхні $7000 \text{ см}^2/\text{г}$ і ретельно перемішують. Завантаження циклічне кожні 5-7 хвилин. Стекло і газоутворювач в кульових млинах дозуються таким чином. Під бункером з матеріалом знаходяться ваги, які порціями подають матеріал, за допомогою шнекового живильника.

Готову тонкоподрібнену шихту безперервно відбирають з млина і за допомогою елеватора завантажують у витратний бункер, який забезпечують автоматичними вагами, за допомогою яких шихта завантажується порціями у форму.

Спінювання і відпал скла можна проводити за наступними схемами: 1) спінювання здійснюється в металевих формах, виконаних з жаростійкої сталі. Спінювання може проходити як в окремих так і в одному агрегаті. 2) спінювання відбувається на керамічних жароміцних піддонах (отримують піноскла без форм). Використовують конвеєрні печі. Принцип отримання піноскла: матеріал нагрівають до температури $870-900^{\circ}\text{C}$, витримують деякий час, швидкість підбирають так щоб процеси плавлення і газовиділення співпали в часі. Потім фіксують різким охолодженням і стабілізують витримкою виробу в печі деякий час. Піноскло відпалюють і піддають механічній обробці (обпилювання). Печі спінювання відповідно до стадій технологічного процесу мають зони: - спінювання, - охолодження, - стабілізація. Для спінювання використовують муфельні і напівмуфельні тунельні печі. Процес спінювання здійснюється при максимальній температурі, потім блоки різко охолоджуються при $t > 750^{\circ}\text{C}$, процес займає 2 години потім блоки дістають з форм і ставлять на відпал (10 годин), максимальна температура 540°C .

Технологічна схема виробництва піноскла холодним способом. Стабілізатор: бентонітова (вогнетривна) глина (4-5%) або рідке скло (3-4%). Піноутворювачі: органічні речовини (3-4%). Особливість технології: відформовані вироби при сушці і подальшому відпалі не дають усадки. Це дозволяє випуск виробу складної форми. Технологія дозволяє використовувати у виробництві скло різного складу. Пеностеклянке виробу мають дрібнопористу структуру, низьку теплопровідність і високу міцність. Можна отримувати матеріали, які можуть працювати при високій температурі - 800-900 °С.

2.2 Способи і устаткування для отримання вспіненого скла

Фізико-хімічні основи порошкового способу виробництва виробів з пористого скла полягає в досягненні відповідності між температурами переходу скла в піропластичний стан і начала активного розкладання газоутворювача [6].

Технологія виробів зі вспіненого скла, заснована на порошковому способі, передбачає приготування тонкомолотої шихти, що складається із скла у вигляді порошку і газоутворювача, спікання шихти з одночасною її спінюванням, закріплення отриманої пористої структури і зняття температурної напруги, що виникає у виробі при зниженні температури [4]. Особливості отримання будівельного матеріалу на основі піноскла з використанням додаткового декоративного покриття в якості захисту структури розглянуто в роботах [7,8].

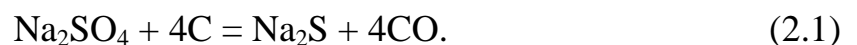
Основні чинники, що впливають на стабільність процесу спінювання скломаси, повинні знаходитися в інтервалах: в'язкість скломаси 2800 - 3500 Па·с, при температурі спінювання скла 720 – 930 °С; 3,5 - 10 Н/м - поверхневе натягнення, з підвищенням температури парціальний тиск газової фази повинен наростати починаючи з температури 50 - 70°С, вище за температуру розм'якшення скломаси, причому тиск газової фази повинен нарастать

поступово в широкому температурному інтервалі, співпадаючим з температурним інтервалом, що забезпечує в'язкість стекломаси в робочому діапазоні. Газообразователи повинні відповідати наступним головним критеріям: виділення газу повинне відбуватися рівномірно в об'ємі, що забезпечує достатній тиск; а так само не виділяти в процесі спінювання токсичних продуктів.

Одними з основних критеріїв вибору типу газообразователя є температура спікання і інтервал в'язкості скла, від необхідної пористості структури, а іноді від забарвлення продукту [4].

При спученні скла проходять процеси фізико-хімічного і фізичного характеру. Розм'якшення часток скла є фізичним процесом; для більшості стекел це проходить при нагріві матеріалу біля 600 °С. При цьому в'язкість скла досить велика і спінювання практично не відбувається. При подальшому нагріві знижується в'язкість скломаси і спостерігається спікання маси - процес фізико-хімічний.

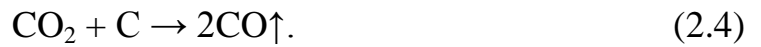
При підвищенні температури вище за температуру початку розм'якшення скляного порошку на 50 – 70°С у разі використання вуглецьвмісного газообразователя йдуть хімічні реакції між сульфатом натрію, який міститься в склі, і вуглецем [9]:



Подальше підвищення температури інтенсифікує цю реакцію і одночасно знижує в'язкість скломаси, що призводить до її спучення за рахунок збільшення газової фази. Разом з цим відбувається реакція окислення вуглецю за схемами:



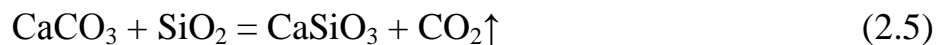
У разі нестачі кисню йде реакція відновлення з поглинанням теплоти:



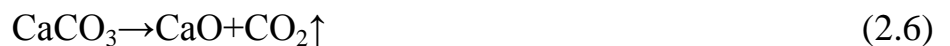
У промисловості застосовують газообразователи вуглецевого типу такі як, антрацит, кокс, напівкокс, графіт, карбід кремнію.

З метою зміни властивостей піноскла і його пористості використовують як газообразователя карбонатні породи (мармур, крейда, вапняк). В цьому випадку утворення газової фази проходить по реакції:

заміщення, проходить від температури 600 °С,



розкладання, яке починається при температурах 795-818°С,



Використовують і деякі інші газообразователи, основні види яких представлені в таблиці 2.1 [4].

Таблиця 2.1 - Типи газотвірних агентів, використовуваних при виготовленні комірчастого скла

Газоутворювач, агент	$T_{\text{спек}}, ^\circ\text{C}$	Необхідна кількість газоутворювач а % по масі	Будова пор комірчастого скла	Колір комірчастого скла
Піролюзит (MnO_2)	680 - 720	3,0 - 5,0	Частково замкнуті	Фіолетовий
Азотокислий натрій (NaNO_3)	720	1,0 - 3,0	Що повідомляються	Білий, сірий
Мрамор известняк, (CaCO_3)	760 - 775	0,5 - 1,0	Що переважно повідомляються	Білий
Вуглецевий кальцій	750 - 760	1,0 - 1,5	Замкнуті	-
Антрацит	770 - 780	2,0 - 3,0	Що частково повідомляються	Табачножелт ий, темносірий
Кокс	790 - 800	2,0 - 3,0	Замкнуті	Коричневий
Графіт	850 - 900	1,0 - 2,0	Замкнуті	Сірий,
Карбід кремнію (SiC)	850 - 900	1,0 - 3,0	Замкнуті	Сірий

Підбираючи хімічний склад скла, міра його подрібнення, застосовуючи різні типи газообразователів, напрямлено регулюючи режим спікання, можна в широких межах змінювати загальну пористість, її характер і, отже, властивості виробів зі вспіненого скла.

Застосування спеціальних режимів охолодження спученої скломаси дозволяє здійснити бездефектну стабілізацію структури комірчастого скла. Для запобігання усадці спученої маси в перший період, знаходження в піропластичному стані і немає небезпеки утворення тріщин, різко підвищують в'язкість скла шляхом зниження температури на 150 - 180 $^\circ\text{C}$.

Далі застосовують повільний режим охолодження (відпал) з метою перекладу скла в твердий стан і недопущення при цьому термічної напруги, сприяючої до розтріскування виробів [4].

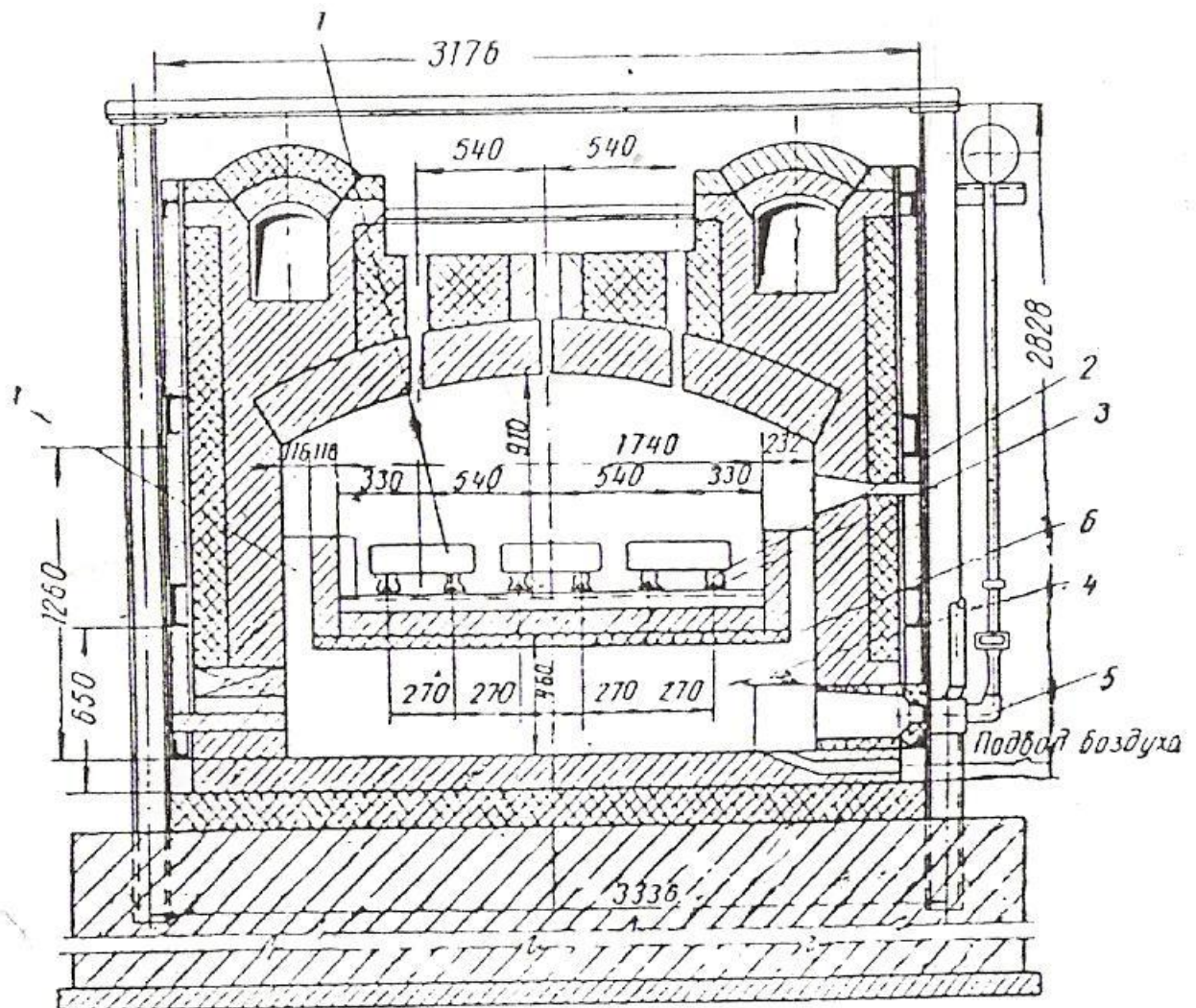
Технологія виробів з піноскла має різновиди. При використанні скла у вигляді бою в технології, технологічний процес виробництва піноскла проходить за неповною схемою. У такому разі виключається піч скловаріння а також відділення підготовки шихти. У основу такого технологічного процесу лягають операції відділення, дроблення і очищення бою скла [4].

Основна більшість підприємств реалізують технологічний процес за повною схемою, що включає відділення підготовки сировини для отримання стеклогранулята, відділення приготування шихти, пекти скловаріння, грануляцію скла, що складається з сітчастого конвеєра, постійно омиваний водою, на якій з льотки виробничій частини печі поступає скляний розплав. В процесі щедрого обмивання водою швидко остигаючий розплав, розпадається на окремі частки (гранули). Газоутворювач і гранули скла поступають на ділянку підготовки шихти для виробництва вспіненого скла. Тут стеклогранулят і газоутворювачі піддаються подрібненню в дробарках щічного або молоткастого типу до часток в інтервалі 1 - 3 мм і після процесу дозування вони поступають на спільне доподрібнення в двокамерний млин безперервної дії з футеровкою з кераміки або кремнію і кремнієвими мелющими тілами. Помел проводять до отримання порошку з S_y від 4000 до 7000 $\text{см}^2/\text{г}$.

Установки, де скло вспінюється у формах в роздільних печах спінювання і відпалу, отримали найбільше поширення у світовій практиці виробництва піноскла. Подібні установки діють на Лихоборском і Лианозовском заводах. Цей же принцип покладений в основу установок на підприємствах Чехії і США.

Порядок роботи установок наступний. [4] Форми з шихтою проходять піч для спінювання малюнок 8, де прогриваються до температури, достатньої для утворення плити піноскла. Після виходу з печі гарячої форми з неї

витягують блок, який подають в піч відпалу, а форму повторно заповнюють готовою композицією і подають в піч спінювання.



1 – форми; 2 – повзунки; 3 – гідравлічний штовхач; 4 – подповоді топки; 5 – інжекційні пальники; 6 – жаростійкі металеві плити; 7 – вертикальні канали

Рисунок 2.1 - Піч для спінювання (поперечний розріз)

Форми 1 встановлюють в один або в два ряди по висоті і в три ряди по ширині на повзунки 2. Повзунки по напрямних 3 проштовхуються гідравлічним штовхачем. Оскільки форми щодо повзунків нерухомі, їх можна виготовляти як із замкнутим контуром, так і розбірними.

Піч для спінювання прохідна, полумуфельного типу, з подподовими топками 4, опалюється природним газом через інжекційні пальники 5. Подподовие топки перекриті жаростійкими металевими плитами 6, через які нагріваються дно форм. Продукти горіння по вертикальних каналах 7 проходять в робочий простір печі, нагрівають верх форм і примусово рухаються до початку печі.

Приблизний режим спінювання скла в подібній печі представлений на графіку рисунку 2.2 [4].

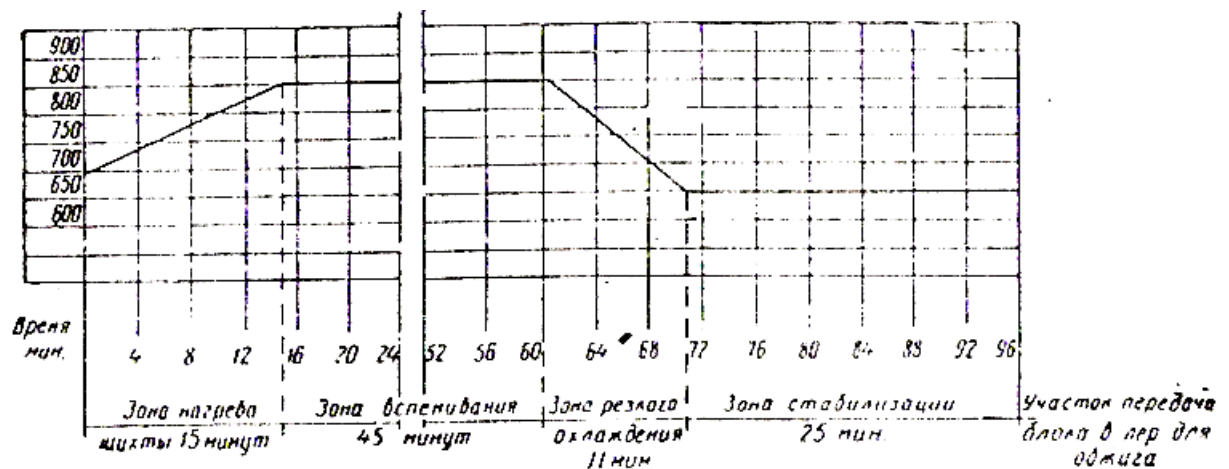


Рисунок 2.2 - Температурний режим спінювання піноскла

Як видно з графіка, за зоною спінювання слід зона різкого охолодження для фіксування структури матеріалу. Оскільки в цій зоні поверхневі шари можуть переохолодитися, в печі передбачена зона стабілізації, в якій температура вирівнюється по перетину пеностекольної плити і після виходу з печі плита має рівномірну температуру порядку 650°C.

Для відпалу блоків можна застосовувати печі типу ЛН 1000 * 18 або ПО-1800. Ще краще використовувати конвективні печі відпалу, які широко застосовуються в Чехії.

У печах відпалу плити встановлюють на сітку в положенні «на ребро», що значно підвищує продуктивність печей. Тривалість відпалу плит піноскла завтовшки 100 мм 10-11 годину.

Більш індустріальним є установки з об'єднаними зонами спінювання і відпалу. Тут форми встановлюють в кілька поверхів на вагонетки, які послідовно рухаються по тунельній печі в зони спучування і охолодження
рисунк 2.3.[4]

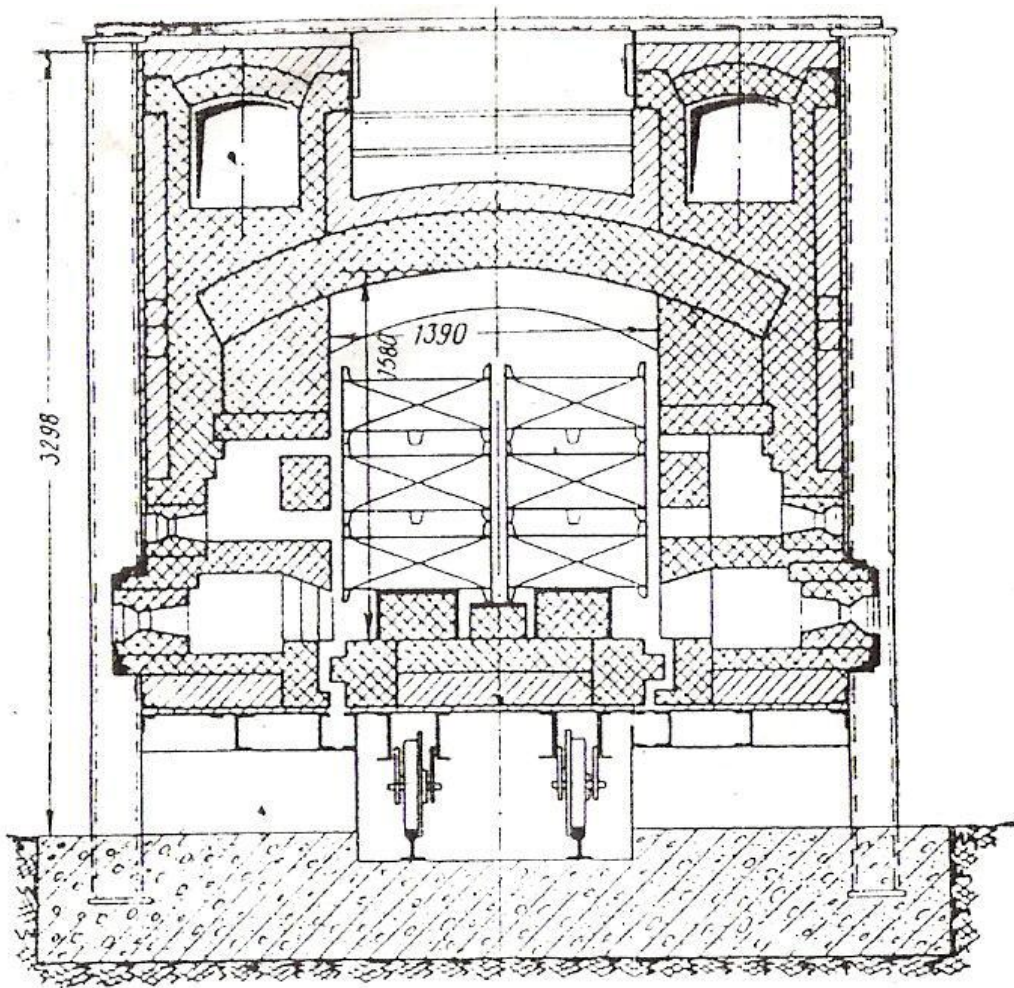


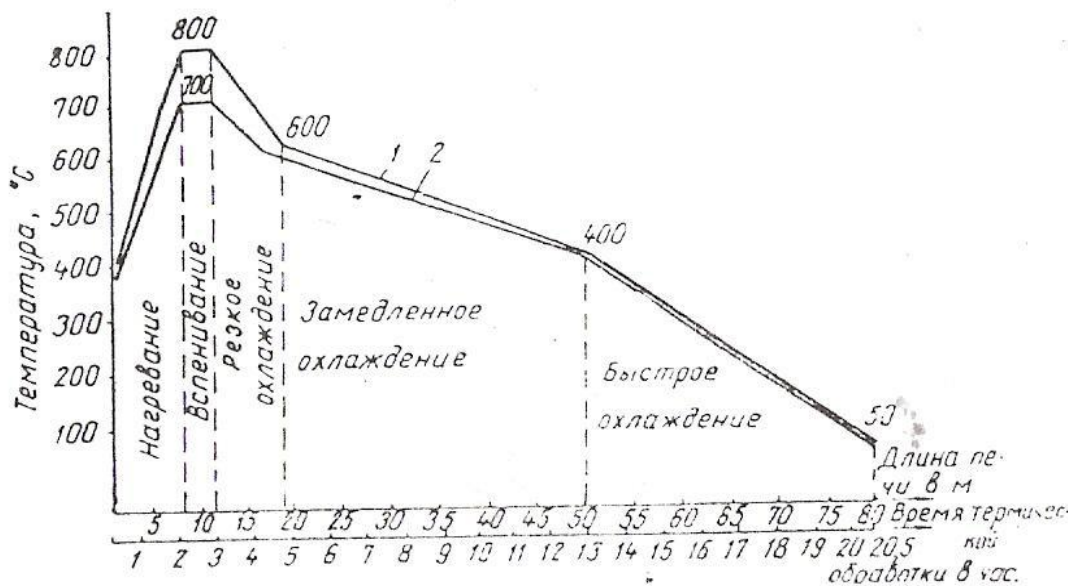
Рисунок 2.3 - Піч тунельного типу для спінювання і відпалу піноскла (поперечний розріз)

Тунельні печі для виробництва піноскла використовують також в Польщі.

У тунельних печах спінювання здійснюють в литих формах з жаростійкої сталі із замкнутим контуром і двома вставними днищами.

Перед засипкою шихти внутрішні поверхні форми обмазують крейдяною або каоліною суспензією для запобігання прилипанню піноскла до металу. Операції очищення і обмазки форм, а також засипки шихти робляться на відповідних позиціях спеціального конвеєра, куди форми переносяться з вагонетки таями. На цьому ж конвеєрі робиться витягання готових блоків з форм. Завантаження і вивантаження вагонеток з печі і переміщення їх по обгінному шляху автоматизовані. Намічається перехід до розбірних форм, що дозволяють отримувати вироби правильної прямокутної форми, не вимагаючи обпилювання.

Температурний режим тунельної печі для газообразователів коксу і торф'яного напівкоксу показаний на рисунку 2.4.



1-газоутворювач-антрацит, 2-газоутворювач-торф'яний кокс

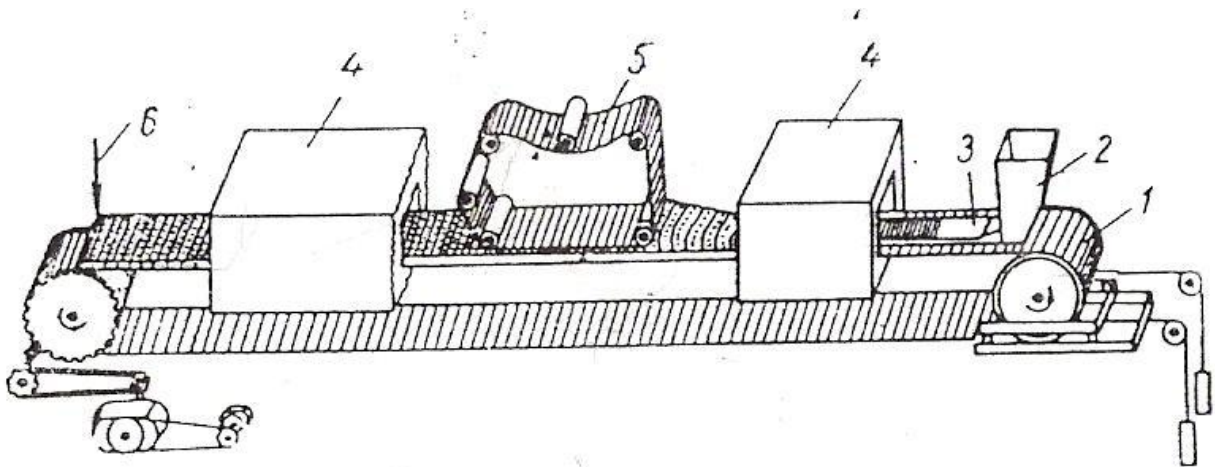
Рисунок 2.4 - Температурний режим тунельної печі

Порівняльна технічна характеристика тунельних печей для виробництва піноскла у формах дана в таблиці 2.2 [9].

Таблиця 2.2 - Технічна характеристика печей

Елементи характеристики	Печі для спінювання (відпал в окремій печі ПО-1800)	Тунельна піч з об'єднаними зонами спінювання і відпалу
Продуктивність в м ³ /год	7000	15000
У тому числі плит в м ³ /год	5000	9000
Габарити печі в м:		
довжина	15	100
ширина	3,5	3,5
висота	3,0	2,8
Одноразова витрата жаростійкої сталі в т	10	150
Питома витрата жаростійкої сталі на 1 м ³ піноскла при експлуатації в кг	2	2
Витрата умовного палива на 1 м ³ піноскла в кг	180	340

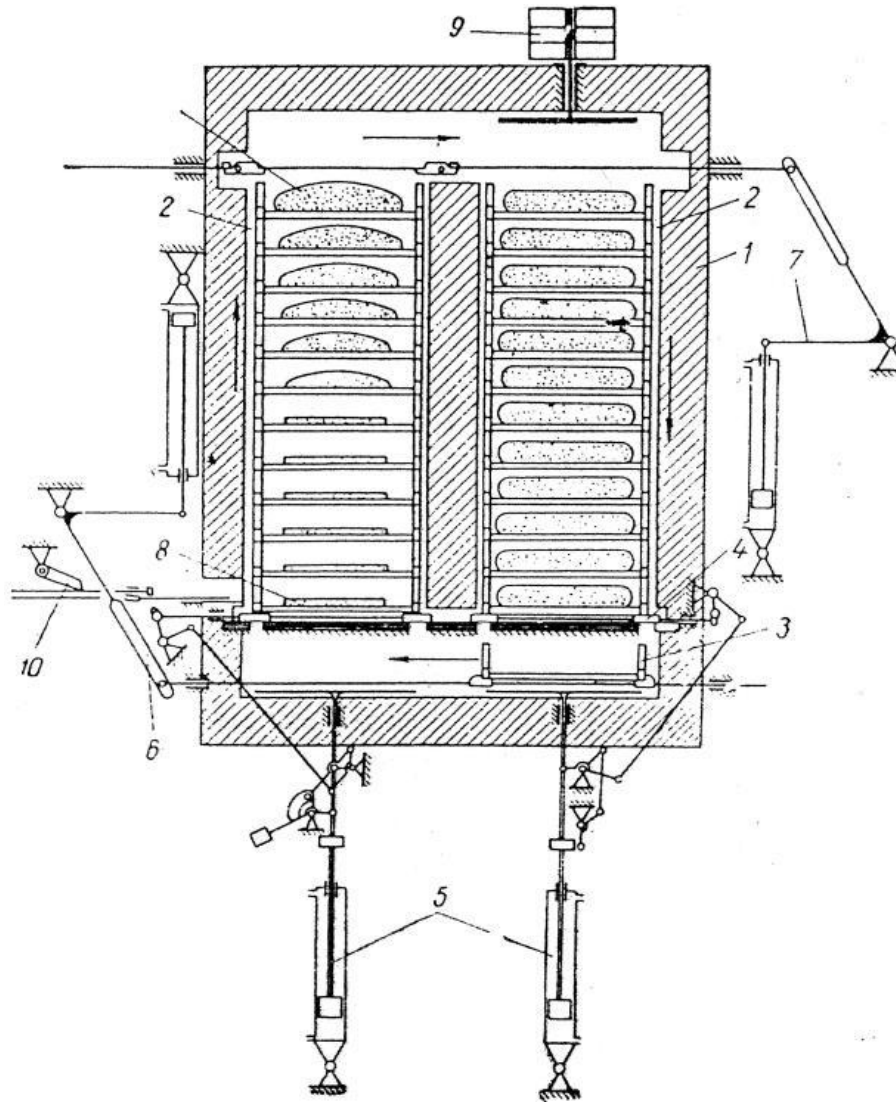
У Державному інституті скла була побудована і випробувана дослідна конвеєрна установка, що дозволяє отримувати безперервну стрічку піноскла на жаростійкій сталевій стрічці завтовшки 0,8-1,2 мм, електричній печі, що переміщається за допомогою приводного барабана через робочу порожнину. Схема установки показана на рисунку 2.5 [4].



1 – транспортерна стрічка; 2 – витратний бункер; 3 – живильник; 4 – електропеч; 5, 6 – сталева стрічка.

Рисунок 2.5 - Схема конвеєрної установки Інституту скла

На сталеву транспортерну стрічку 1 з витратного бункера 2 через живильник 3 безперервно подається шар шихти, який, пройшовши зону спінювання електропечі 4, накочується верхньою сталевною стрічкою 5. Після проходження зони стабілізації від стрічки піноскла ножом 6 відрізуються блоки заданого розміру. По іншому варіанту стрічка безперервно переміщається в піч відпалу і плити відпилюються від стрічки в холодному стані. На основі отриманого досвіду нині конструюється дослідно-промислова установка, на якій будуть остаточно відпрацьовані усі параметри конвеєрного процесу.



1 – піч; 2 – вертикальні канали; 3 – піддони; 4 – рухливі опори; 5 – гідропідйомники; 6, 7 - спеціальні пристосування гідравлічного циліндра; 8 – брикет шихти; 9 – механізм для підпресування; 10 – механізм вихідного каналу

Рисунок 2.6 - Вертикальна піч етажерки

Вертикальна піч етажерки для виробництва піноскла без форм представлена на малюнку 2.6 [4]. Піч 1 є двома вертикальним каналом 2, в одному з яких піддони 3, встановлені один на одного і етажерки, що утворюють, переміщаються вгору, а в іншому - вниз. Етажерки встановлені на рухливі опори 4, механічно пов'язані з гідропідйомниками 5. При

заштовхуванні чергового піддону у вертикальний канал опори відходять і пропускають його.

Горизонтальні переміщення піддонів у верхньому і нижньому горизонтальних каналах робляться спеціальними пристосуваннями 6 і 7 від гідравлічного циліндра. У цій печі намічається використовувати брикетовану шихту. Піч може працювати по двох режимах.

По першому режиму брикет шихти 8 вспенивається у вертикальному каналі і за допомогою механізму 9 підпресування; у низхідному вертикальному каналі проходить зону стабілізації і в нижньому горизонтальному каналі блок виштовхується в піч відпалу. Завантаження чергового брикета робиться на першу позицію висхідного каналу механізмом 10. По другому режиму в обох вертикальних каналах підтримується температура спінювання. При цьому плита Завантаження чергового брикета робиться на першу позицію висхідного каналу механізмом 10. По другому режиму в обох вертикальних каналах підтримується температура спінювання. При цьому плита остаточно вспенивається в нижніх позиціях низхідного каналу і підпресовування роблять при передачі плити в піч відпалу. При роботі по другому режиму пекти продуктивніша. Піддони переміщуються увесь час при однаковій температурі і не виходять з печі, що виключає термічні удари і робить можливим разом з металевими використання керамічних піддонів. Щоб уникнути прилипання піноскла до піддону його робочу поверхню перед завантаженням брикета посипають дрібним кварцевим піском або глиноземом.

Піч опалюється генераторним або природним газом через серію дрібних пальників, що подають продукти горіння в кожную порожнину між піддонами. Продуктивність печі по другому режиму 7500 м³ піноскла в рік. Завдяки винятковій компактності установки (довжина 4 м, ширина 2 м і висота 6 м) раціонально споруджувати батареї по 5 або 10 печей в ряд. Піч пристосована до роботи по високотемпературному режиму (1100-1200°C) і

тому може бути використана для виробництва спеціального піноскла або пенокералита.

Спінювання скла і охолодження (відпал) отриманої продукції проводять або одинстадійним способом (одна піч), або двустадійним способом в печах вспучивання розігрітої маси скла і печі відпалу піноскла.

В процесі одинстадійного отримання форми з жаростійких сталей, заповнені готовою композицією, поміщають на рейки, що поступають в піч тунельного типу. Тепловий режим обробки піноскла представлений на рсунку 2.7 [2]. При способі двустадійной обробки, композиція спрямовується на вспенивание, де піддається нагріву до температури, скломаси, що дозволяє утворювати пористу структуру, і далі досить швидко охолоджується до температури 600 – 630 °С для фіксації в'язкості вспененной скломаси і стабілізації піномаси, що піднялася. Режим роботи печі спінювання приведений на рисунке 2.8 [4].

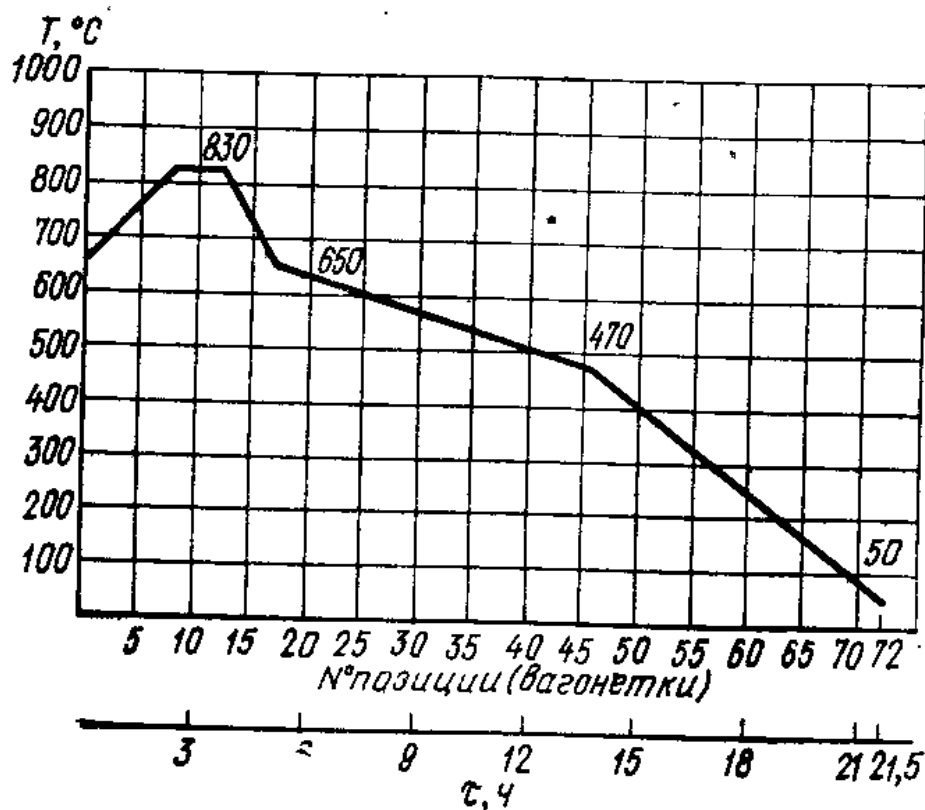


Рисунок 2.7 - Режим термічної обробки піноскла в тунельній печі

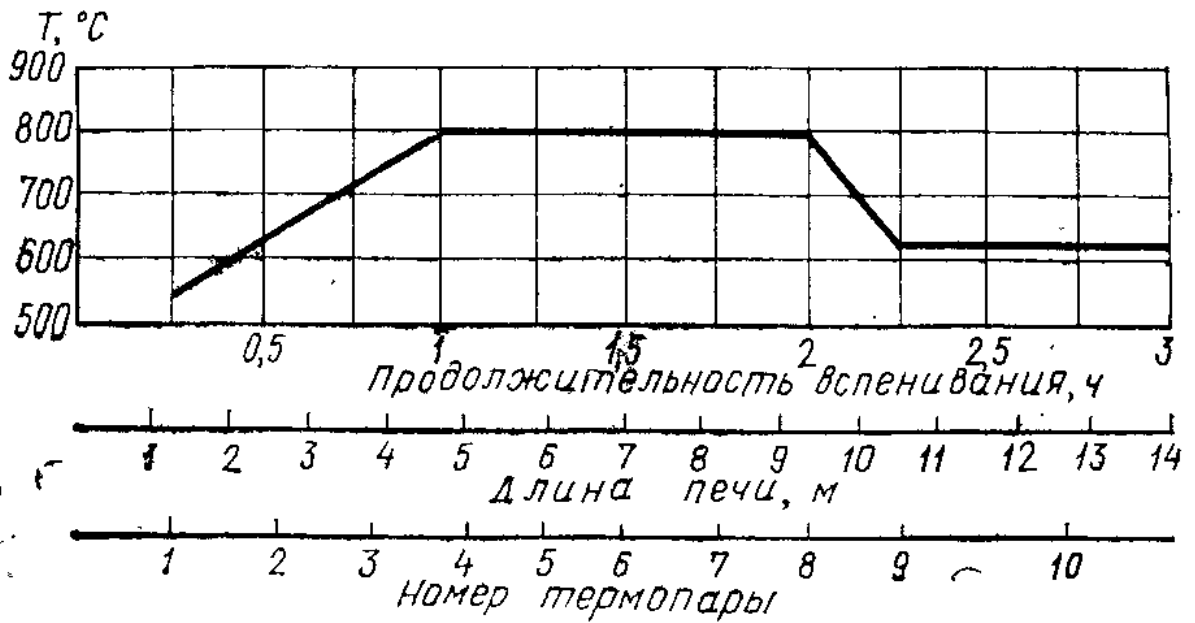


Рисунок 2.8 – Режим роботи печі спінювання піноскла

На виході з печі блоки зі вспененої скломасою витягають з блок-форм і направляють на охолодження в печі відпалу (лер) конвеєрного типу, в якій проходить охолодження в течії 10 - 12 годин, представленому на рисунку 2.9 [4].

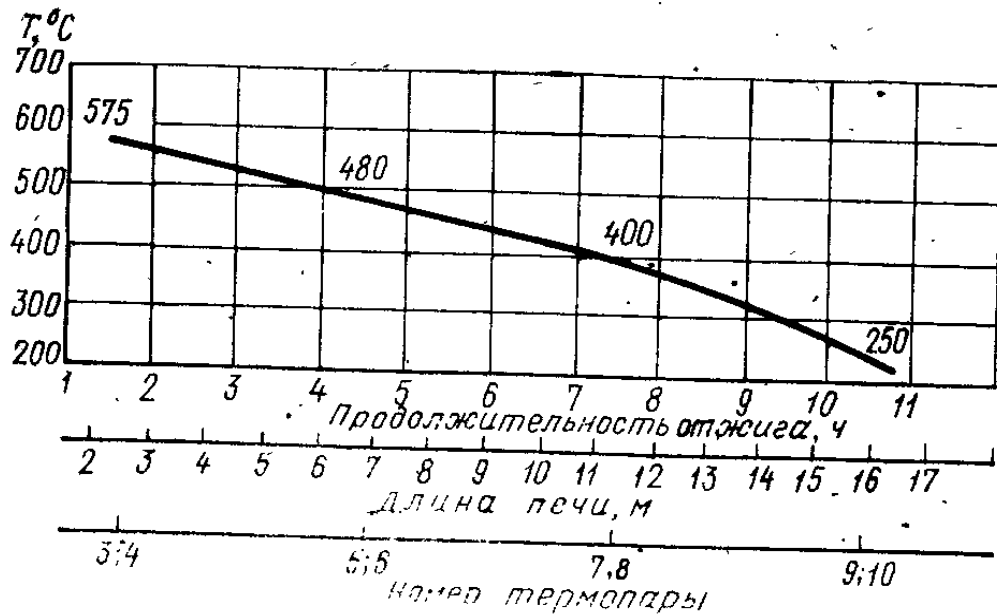
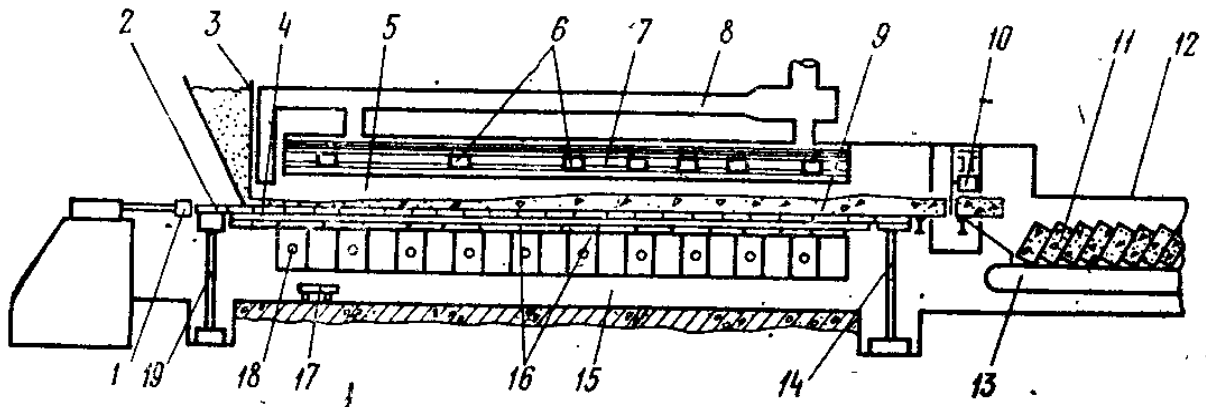


Рисунок 2.9 – Режим гомогенізації і охолодження скломаси

У промисловості освоюється конвеєрний спосіб виробництва блоків з комірчастого скла рисунок 2.10 [4].



1 - толкач форм, 2 - піддон, 3 - бункер для шихти, 4 - направляючі для піддона, 5 - робочий канал печі, 6 - канал для відсоса димових газів, 7 - верхній паливний канал, 8 - колектор для відсоса димових газів, 9 - стрічка піноскла, 10 - відрізний пристрій, 11-блоки піноскла, 12 - піч віджигу, 13 - конвеєр печі віджигу, 14 - знижувач піддонів, 15 - тунель для повернення піддонів, 16-шпали з жаростійкої сталі, 17 – візок , 18 - горілка, 19 - приймач піддонів.

Рисунок 2.10 - Схема конвеєрної установки

В цьому випадку готова композиція подається на конвеєр, виконаний з жаростійких матеріалів у вигляді піддонів з бічними стінками. Піддони утворюють жолоб і сполучені між собою встык. У міру просування жолоба по печі, що забезпечується спеціальним штовхальником, композиція нагрівається і, вспениваючись, утворює стрічку вспененого скла, вирівнювання верхньої поверхні якої здійснюється валиками. На виході з печі, після стабілізації пористої структури (після охолодження до 600°C), стрічка піноскла дисковими пилами розрізає на плити заданих розмірів (за розміром піддону), які автоматично перевантажуються в піч відпалу. Після закінчення теплової обробки плити калібруються і спрямовуються на склад готової продукції.

2.3 Склад і технологія отримання вспененого скла на основі діатоміту

2.3.1. Отримання скла з діатоміту

Для варіння скла заданого складу були приготовані скляні шихти, такі, що мають наступний компонентний склад: 64-70 % - діатоміт, 14-18 % - доламає, 15-20 % - сода кальцинована, 0-5 % сульфат натрію. Суміш компонентів ретельно перемішували і завантажували в корундові тиглі об'ємом 500 мл, нагрівали в муфельній печі до температури 1350 °С і витримували при цій температурі впродовж 15 хвилин. Скло зливали у воду для отримання грануляту з максимальною кількістю поверхневих дефектів внаслідок термоудара, що дозволяє здійснити надалі легше і ефективніше подрібнення. Отримане скло за візуальною оцінкою було повністю проварене і освітлене, колір скла - інтенсивно зелений з переходом в оливковий. Хімічний склад скла приведений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад скла

Оксидний склад	Вміст, % мас
SiO ₂	69-72
Al ₂ O ₃	3,5-5,0
Fe ₂ O ₃	1,5-2,5
CaO	4-6
MgO	3,0-4,5
R ₂ O	11-14
TiO ₂	0,18-0,22

2.3.2. Отримання піноскла з діатоміту

Отриманий з діатоміту стеклогранулят (фрита) змізерніли спільно з газоутворювачем (0,3 %) до питомої поверхні суміші $8\ 500\ \text{см}^2/\text{г}$. В якості газоутворювача застосовувався вуглець технічний (сажа). Вибір газоутворювача обумовлений високою питомою поверхнею сажі – $100\ 000\ \text{см}^2/\text{г}$ і малим розміром часток (30–40 нм), які в процесі подрібнення рівномірно розподіляються по поверхні скла, а у міру збільшення тривалості помелу перешкоджають контакту часток скла між собою, підвищуючи цим швидкість диспергування [5, с. 46]. В якості подрібнювального устаткування був вибраний планетарний моноmlin. Цей вид помольних агрегатів використовує високі прискорення і характеризується високою енергонапруженістю, що дозволяє за 10-30 мін здійснити подрібнення, що набагато швидше, ніж при використанні традиційного подрібнювального устаткування.

Після спільного подрібнення фрити і газообразователя пеностекольною шихту завантажували у необхідній кількості в жароміцні металеві форми $160 \times 160 \times 110$, заздалегідь змащені каоліном і ущільнювали до однакової висоти. Форми накривали щільно підігнаними кришками і поміщали в піч з підігріванням череня при $600\ ^\circ\text{C}$, далі підвищували температуру до $840\ ^\circ\text{C}$, зі швидкістю $17,5\ ^\circ\text{C}/\text{хв}$ і витримували протягом 20–30 хв. Охолодження проводили з вимкненою піччю до $25\ ^\circ\text{C}$ температури. Після чого зразки піноскла витягали з форм, обробляли і проводили визначення основних фізико-механических характеристик. Слід зазначити, що температура спінювання фрити, приготованої за цією технологією, на $10\text{--}20\ ^\circ\text{C}$ нижче, а тривалість спінювання на 10-15 % менша, ніж у скла Фурко.

Варто відмітити, що скло, зварене на основі діатоміту за вищезгаданою традиційною технологією, виготовлено уперше. Раніше в літературних джерелах згадувалося лише про варіння скла гідротермальним способом з кварцевого піску з використанням діатомової сировини [4, с. 61].

2.4 Основні характеристики отриманих зразків піноскла

Оцінка властивостей готового продукту проводилася відповідно до ГОСТ Р ЕН 826 для визначення межі міцності на стискування, по ГОСТ Р ЕН 1602 для визначення щільності дослідних зразків, по ГОСТ 20910 - 90 для визначення водопоглинання і відповідно до ГОСТ 7076 - 99 для виміру теплопровідності. Результати представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Фізико-механічних характеристики піноскла

Характеристика	Показник
Щільність, кг/м ³	125-135
Міцність на стискання, МПа	0,7-1,1
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,050-0,055
Водопоглинання, % об.	3-5

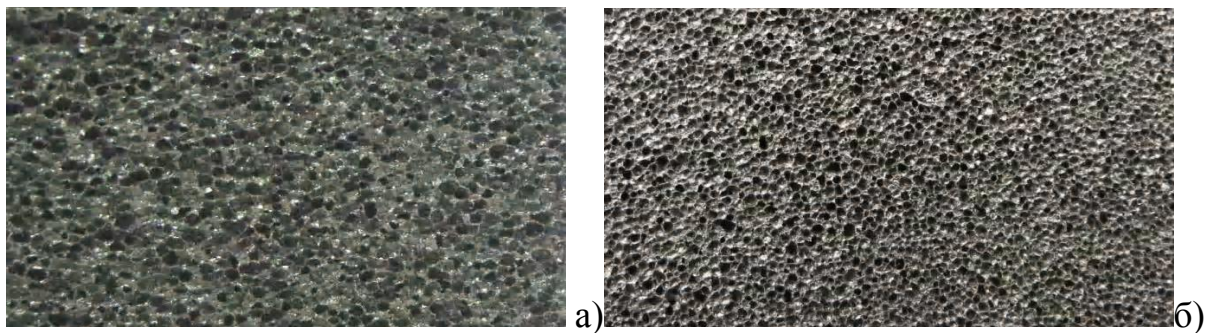


Рисунок 2.11 - Структура піноскла: а) Foamglas; б) Diamix.

Як видно на рисунку, усі зразки мали закриту рівномірну дрібнопористу структуру і нічим не поступалися структурі матеріалів Foamglas – провідного світового виробника Pittsburgh Corning

2.5 Синтез скла для виробництва спінених ізоляційних матеріалів і дослідження властивостей шихт на основі діатоміту

Специфіка завдання синтезу полягала в особливостях базового сировинного матеріалу - діатоміту, які були описані вище. Середній склад діатоміту: SiO_2 - 82,176 %; Al_2O_3 - 5,365 %; Fe_2O_3 - 2,371 %; CaO - 0,30 %; MgO - 0,771 %, TiO_2 - 0,270 %; K_2O - 1,232 %; Na_2O - 0,168 %; H_2O - 7,35 % вес.

До складу скла для виробництва піноскла пред'являються підвищені вимоги відносно відсутності кристалізації в ділянці температур близьких до температури спінювання при можливо вищій швидкості тверднення і підвищеної хімічної стійкості до атмосферної вологи, а також помірного поверхневого натягнення.

Виходячи з наведених вище міркувань, за початкову базову систему прийнята потрібна система Na_2O - CaO - SiO_2 , у якій вибрана область складів Na_2O - 14-16 %; CaO - 8-12 %; SiO_2 - 74-78 %. До базового складу з діатоміту також увійшли оксиди алюмінію, заліза, магнію і калію.

В процесі проектування скла для вспененого теплоізоляційного матеріалу на основі шихт, що включають діатоміт в якості головного компонента, був проведений розрахунок для 16 складів скла, 19 властивостей і технологічних параметрів по 7 методикам, заснованим на аддитивному вкладі у властивості матеріалу компонентів, - оксидів. Ці методи дозволили наблизитися до попереднього вибору складу. Були розраховані і виміряні властивості стекол базового складу з двох типів шихт для порівняння впливу двох основних компонентів - піску і діатоміту. Скло 1 з шихти складу : діатоміт, доламає, крейда, сода, сульфат; скло 2 - пісок, польовий шпат, доламає, крейда, сода, сульфат.

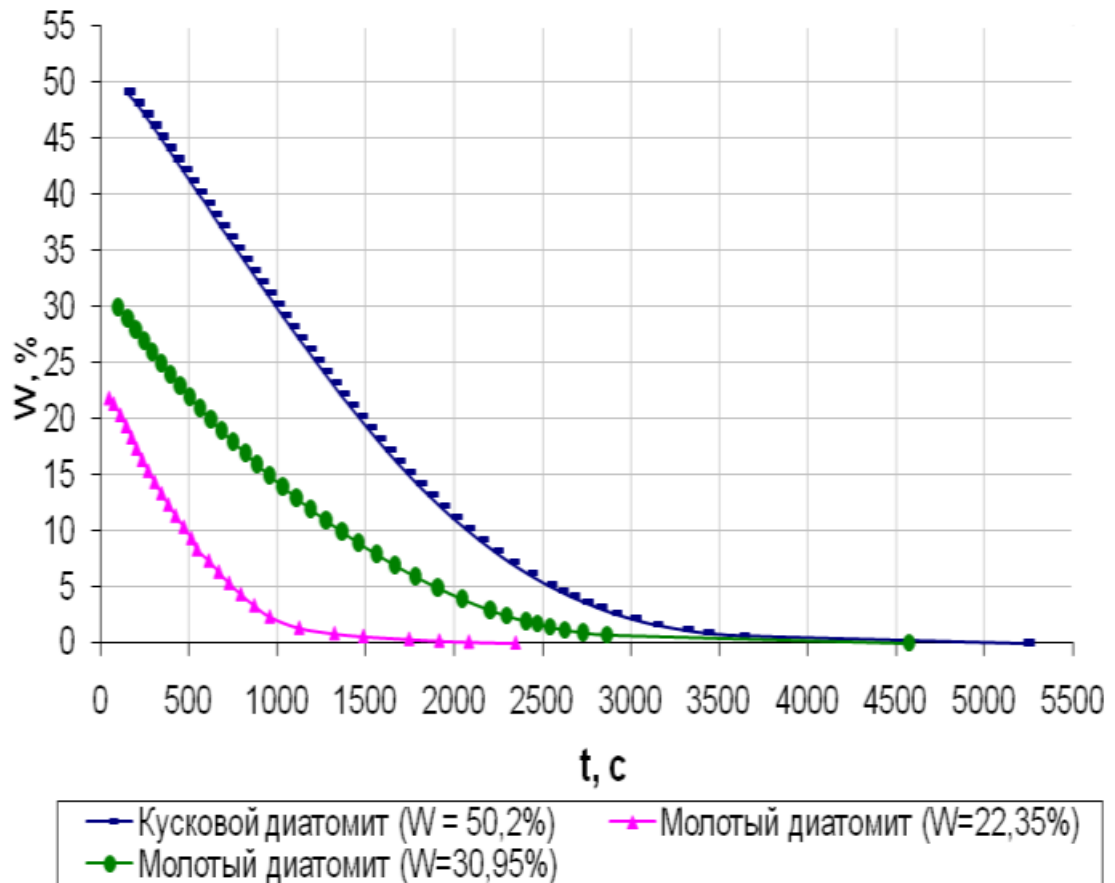


Рисунок 2.12 - Залежність вологості діатоміту від часу сушки

Вологість Инзенского кар'єрного діатоміту складає до 47 - 50 %, причому вона зберігається круглий рік, що обумовлено його мікропористою структурою і високими теплоізоляційними властивостями ($0,092-0,097 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$). Діатоміт при вологості 6,3 % характеризується високою питомою поверхнею $30630 \text{ м}^2/\text{кг}$, істинною щільністю $2610 \text{ кг}/\text{м}^3$, насипною щільністю $350 \text{ кг}/\text{м}^3$.

З отриманої залежності динаміки сушки діатоміту (рис.2) виходить, що інтенсивність сушки знижується при зменшенні вологості, при відносній вологості менше 5 % процес сушки діатоміту істотно сповільнюється, що пов'язано із завершенням видалення фізично пов'язаної води з поверхні. Видалення вологи з кускового діатоміту відбувається значно повільніше, що пов'язано з низькою теплопровідністю діатоміту.

Завдяки особливостям структури основного компонента шихти - діатоміту, її властивості істотно відрізняються від традиційної скляної шихти. Вологість шихти практично повністю визначається вологістю діатоміту, оскільки інші компоненти практично не містять вологи. Діатоміт з відносною вологістю 15-30 %, зберігає хорошу сипучість, має стабільний кут природного укосу біля 40°. Механічні властивості шихти при використанні діатоміту такої вологості також є досить стабільними, шихта має хорошу сипучість при вищій вологості в порівнянні з традиційною шихтою на основі кварцевого піску.

При компактуванні шихти на поверхню видавлюється частина вологи з пір діатоміту і гелі, продукт гідратації кремнезему, що підвищує міцність зв'язку між частками компактированої шихти, її хімічну активність, волога з поверхні випаровується, а міцність компактизованих пластинів зростає. Параметри компактування : тиск 10-12 МПа; відносна вологість 10-20 %; температура 35-40 °С; швидкість обертання валків, що виключає пыление шихти; безперервний режим роботи валкового пресу.

2.6 Особливості варіння скла на основі діатоміту, фазові і структурні зміни при термообробці

Склади на основі діатоміту з високим вмістом лугів (12-14 мас. %), повністю проварювалися і освітлювалися при температурі 1380 °С (при температурі 1240 °С скляна нитка практично не містила вузлів), склади на основі діатоміту з низьким вмістом лугів (6-8 мас. %), повністю освітлювалися і проварювалися при температурі 1480 °С, а склади на основі кварцевого піску, повністю проварювалися і освітлювалися тільки при 1530-1540 °С. На основі проведених досвідчених варінь стекел для подальших досліджень були вибрані чотири склади скла.

Для введення в скло полуторних, щелочеземельних, лужних оксидів (залежно від заданого складу) використовували різні сировинні матеріали:

стекло № 1 - діатоміт, доломіт, кальцинована сода, сульфат натрію; скло № 2 - діатоміт, крейда, сода кальцинована, сульфат натрію; скло № 3 - діатоміт, доломіт, сода кальцинована; скло № 4 - діатоміт, крейда, сода кальцинована.

Для цих складів були проведені варіння в електричній камерній печі ТК1700 в окислювальній атмосфері в кварцевих тиглях при максимальній температурі в печі 1380 °С, досліджені кристалізаційна і вспениваюча здатність.

В результаті був вибраний склад 1 (мас., %): SiO_2 – 68,15, Al_2O_3 – 4,34, Fe_2O_3 – 1,91, TiO_2 - 0,22, CaO – 6,14, MgO – 4,28, R_2O – 14,43 SO_3 – 2,50. Цей склад найменш схильний до кристалізації в області температури спінювання (перші ознаки поверхневої кристалізації лише при 848 °С), має кращу вспениваючу здатність (шестикратне збільшення об'єму при одноріднішій і дрібнопористій структурі).

З метою відробітку технологічних режимів і властивостей піноскла було проведено дослідно-промислове варіння в газовій ванні печі у відновній атмосфері при температурі варіння 1430 °С, температура вироблення – 1240 °С, можливість істотного зниження температури варіння скла, що показала, на основі діатоміту в промисловому виробництві. Отримане скло було повністю проварене і освітлене, колір скла - інтенсивно зелений з переходом в оливковий.

Диференціальний скануючий аналіз шихт дозволив виділити плавний ендотермічний ефект приблизно 500°С з максимумами, пов'язаними з видаленням основної маси адсорбційної води (90-170 °С), з втратами міцніше пов'язаної води з опаловидного кремнезему і частковою перебудовою кристалічної решітки глинистих мінералів (500-530 °С), з інтенсивним видаленням кристалізаційної води (650-750 °С), з плавленням евтектик (679-680 °С), з плавленням соди і появою рідкої фази (804-864 °С), відсутність фазового переходу β -кварца в α -кварц у шихті з діатомітом на відміну від шихти з піском. Эндоэффекты в шихті з діатомітом спостерігаються при

нижчих температурах, що говорить про більше ранню появу рідкої фази і, відповідно, інтенсивнішому стеклообразованні в порівнянні з шихтою з кварцевим піском.

Інфрачервоний спектроскопічний аналіз показав, що при термообробці шихти з діатомітом дещо менше енергія зв'язку $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ в порівнянні із спеком з шихти з піском (списа коливань зв'язку $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ при 1036 см^{-1} , 776 см^{-1} та 464 см^{-1} для зразка з шихти з діатомітом і 1056 см^{-1} , 780 см^{-1} і 464 см^{-1} для зразка з шихти з піском). Зміщення основних піків коливань зв'язку $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ с 1096 см^{-1} у спека шихти з діатомітом при $800\text{ }^\circ\text{C}$, к 1032 см^{-1} у спека шихти з діатомітом при $950\text{ }^\circ\text{C}$ говорить про більше ранній і значний перехід від "силікатних ланцюгів" до "силікатних шарів" в порівнянні із спеком шихти з піском. Інтенсивні коливання в спеках шихт з діатомітом в районі $3400\text{-}3450\text{ см}^{-1}$ відповідають валентним коливанням ОН-груп (пік при 3448 см^{-1}), пік в районі 1630 см^{-1} може відповідати як деформаційним коливанням цілої молекули води, так і деформаційним коливанням зв'язку $\equiv\text{Si-OH}$. У літературі вказується, що вода в діатоміті зберігається при термообробці до $600\text{ }^\circ\text{C}$, що говорить про наявність хімічно пов'язаної води в діатоміті. Наші дослідження показали, що ОН-групи і навіть молекулярна вода виявляються після термообробки $950\text{ }^\circ\text{C}$, що окрім хімічно пов'язаної води пояснюється утриманням вологи внутрішньопоровими силами.

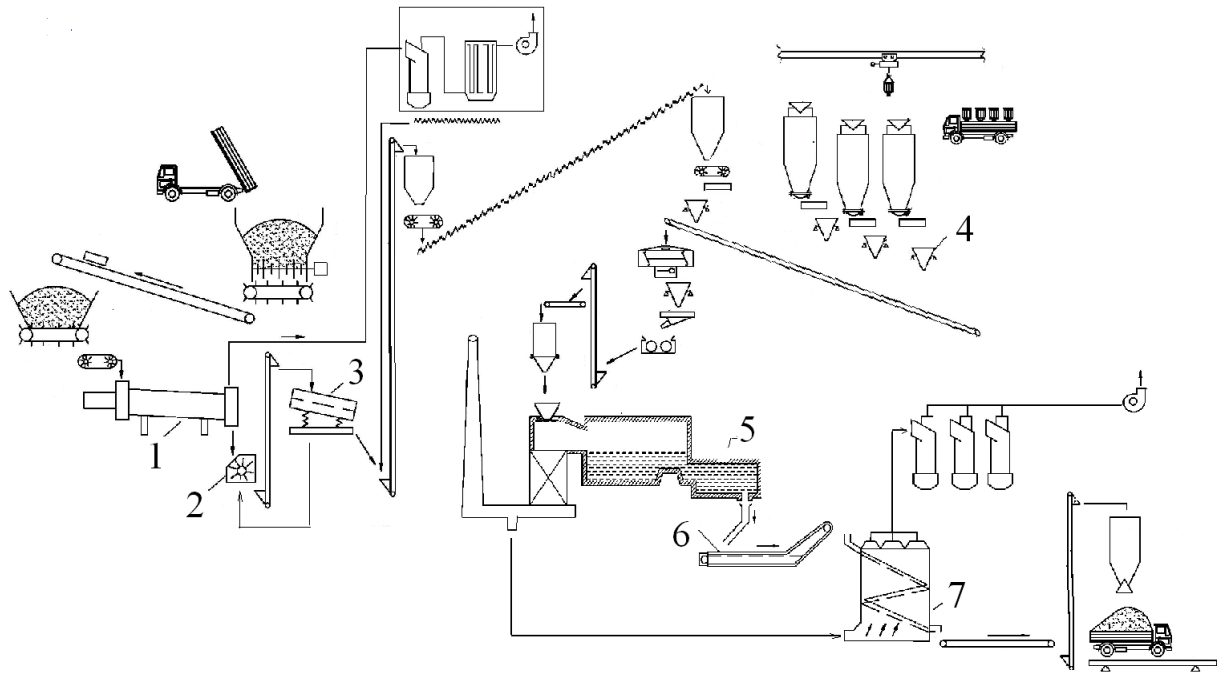
Для вивчення фізико-хімічних перетворень, відмінностей фазового і мінералогічного складів шихти з діатомітом і шихти з кварцевим піском для стекол одного складу, проведені лабораторні варіння в ідентичних умовах. Склад шихти з діатомітом: діатоміт, доломіт, сода, сульфат; склад шихти з кварцевим піском: пісок кварцевий, доломіт, сода, польовий шпат, оксид заліза ЧДА, двоокис титану, сульфат; проведений рентгенофазовий аналіз спеков шихт при характерних температурних точках $100, 600, 680, 820, 900, 980, 1100, 1200\text{ }^\circ\text{C}$ та $1250\text{ }^\circ\text{C}$, і далі після витримки 1 годину, 2,5 години. Лабораторне варіння шихти, в яку кремнезем вводився через кварцеве скло,

показало, що температура варіння практично не відрізняється від скла з шихти на базі кварцевого піску.

2.7 Розробка промислової технології силікатних піноматеріалів

На підставі проведених досліджень і описаних раніше положень була розроблена комплексна технологічна лінія виготовлення стеклогранулята на основі діатоміту, схема якої приведена на рис. 2.13 (патент №122380 от 27.11.2012).

Технологічна схема включає ділянку обробки кар'єрного діатоміту з сушкою в сушарному барабані 1, дробленням 2 і класифікацією 3, облаштування активації і стабілізації процесів дозування і транспортування, додатковий дозатор содосульфатної суміші 4 з метою газонасичення стеклогранулята, скловарну піч 5 для отримання повністю провареного скла з дрібними включеннями мікропухирів, скребкового гранулятора скломаси 6 для отримання 3-5 мм скляних гранул, триступінчатого протитечійного осушувача стеклогранулята 7 і ділянки вантаження готового продукту. Отриманий стеклогранулят дозволяє отримувати високоякісне тепло- і звукоізоляційне піноскло за порошковою технологією



1 – барабан для сушки; 2 – дробарка; 3 – класифікатор; 4 – додатковий дозатор; 5 – скловарна піч; 6 – скребковий гранулятор скломаси; 7 – триступінчатий протитечійний осушувач

Рисунок 2.13 - Апаратурно-технологічна схема виробництва стеклогранулята із скляної шихти на основі діатоміту

Однією з ключових стадій, що роблять вплив на якість піноскла, є стадія отримання пінотворної суміші, в якій основним є процес диспергування. В ході роботи виявлено, що при диспергуванні на повітрі проявляється ефект агрегації первинних часток, а волога, що міститься в діатоміті, виступає як поверхнево-активну речовину, що призводить до значного росту питомої поверхні, окрім цього виділені наступні чинники підвищення реакційної здатності: дефектність структури стеклогранулята, послаблення зв'язків за рахунок впровадження чужорідних часток вспенивателя, локальне розігрівання.

Встановлено, що ефект підвищення питомої поверхні знижується залежно від часу витраченого на помел, спочатку росте, потім практично не зростає. У планетарних млинах частки речовини, що диспергує, схильні до частіших ударів тіл, що мелють, і значніша частина часу і енергії

витрачається безпосередньо на процес подрібнення, а пінотворна суміш має однорідніший гранулометричний склад.

Стеклогранулят піддається тонкому помелу в планетарному млині, а потім змішується також в планетарному млині з гранульованою сажею в заданому співвідношенні - 99,7 % стеклогранулята, 0,3 % сажі. Подрібнення пінотворної суміші проводиться до набуття значення питомої поверхні $850 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Гістограма гранулометричного складу пінотворної суміші отриманою на планетарному млині представлена на рис. 4. В цьому випадку 100 % часток порошку пінотворної суміші мають розміри не більше 52,173 мкм, при цьому середній розмір часток склав 11,142 мкм.

Найбільш важливим технологічними процесами являється спікання і утворення пор готової композиції. Під час цього протікає ряд фізичних і фізико-хімічних процесів, що вимагають взаємодії найважливіших чинників, що визначають задану спрямованість структуроутворення. При температурі активного газовиділення скломаса повинна мати достатню в'язкість, що забезпечує нерозривність міжпорових перегородок, що утворюються, і низьким поверхневим натягненням, сприяючим потоншенню цих перегородок. Ця відповідність визначається температурою початку активного газовиділення, видом газообразователя і хімічним складом скломаси, що визначає зміну її властивостей реологій при нагріванні [9].

Процес спінювання ділиться на 5 основних етапів: нагрівання і сушка; спікання; піноутворення; попереднє охолодження ("заморожування" пеноструктури); відпал. Режим спінювання, підібраний при відробітку технологічних параметрів : температура завантаження в піч – $450 \text{ }^\circ\text{C}$; швидкість підйому температури від $450 \text{ }^\circ\text{C}$ до $850 \text{ }^\circ\text{C}$ – $17,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{хв.}$; витримка при $850 \text{ }^\circ\text{C}$ – 15 хв. Після виходу стрічки піноскла з печі спінювання, можливе охолодження без відпалу на повітрі - в цьому випадку стрічка розпадається на шматки гравію (до 60 мм), або відпал в другій тунельній печі при $600 \text{ }^\circ\text{C}$, заздалегідь розпилявши стрічку на блоки.

3 ВЛАСТИВОСТІ І ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПІНОСКЛА

3.1 Властивості піноскла

Вологість кар'єрного діатоміту складає до 47 - 50 %, причому вона зберігається круглий рік, що обумовлено його мікропористою структурою і високими теплоізоляційними властивостями (0,092-0,097 Вт/(м·К)). Діатоміт при вологості 6,3 % характеризується високою питомою поверхнею 30630 м²/кг, істинною щільністю 2610 кг/м³, насипною щільністю 350 кг/м³.

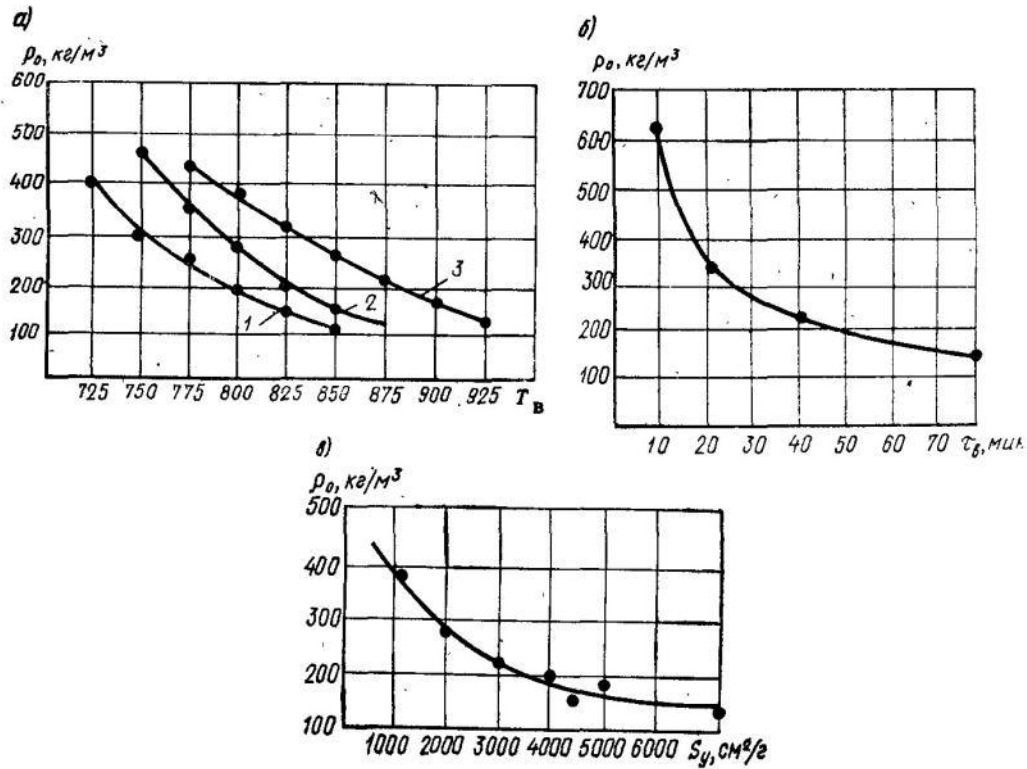
З отриманої залежності динаміки сушки діатоміту (рис.2) виходить, що інтенсивність сушки знижується при зменшенні вологості, при відносній вологості менше 5 % процес сушки діатоміту істотно сповільнюється, що пов'язано із завершенням видалення фізично пов'язаної води з поверхні. Видалення вологи з кускового діатоміту відбувається значно повільніше, що пов'язано з низькою теплопровідністю діатоміту.

Завдяки особливостям структури основного компонента шихти - діатоміту, її властивості істотно відрізняються від традиційної скляної шихти. Вологість шихти практично повністю визначається вологістю діатоміту, оскільки інші компоненти практично не містять вологи. Діатоміт з відотною вологістю 15-30 %, зберігає хорошу сипучість, має стабільний кут природного укосу біля 40°.

Механічні властивості шихти при використанні діатоміту такої вологості також є досить стабільними, шихта має хорошу сипучість при вищій вологості в порівнянні з традиційною шихтою на основі кварцевого піску.

Водопоглинання вспененого скла залежить в основному від характеру його пористої структури : воно досягає 70 - 80% (за об'ємом) у матеріалу з порами, що повідомляються. По відношенню до тривалої дії води стійкість

комірчастого скла велика і визначається гідролітичним класом скла. Гігроскопічність дуже мала і обчислюється долями відсотка за об'ємом. [12]



- а) від температури спінювання T_b при різних газообразователях;
 б) від часу вспенивання τ_b ;
 в) від питомої поверхні шихти;
 1-антрацит, 2-сажа, 3-кокс.

Рисунок 3.1 - Залежність уявної щільності піноскла

Залежність міцності при стискуванні ($\sigma_{сж}$) пористого стекла від уявної щільності ($\rho_{ср}$) представлена на рис. 3.2 і описується в межах уявної щільності від 150 до 700 кг/м³ формулою:

$$\sigma_{сж} = (0,2\rho_{ср} - 20) 0,1, \quad (3.1)$$

де: $\sigma_{сж}$ – межа міцності на стискування, МПа;
 $\rho_{ср}$ – середня щільність піноскла.

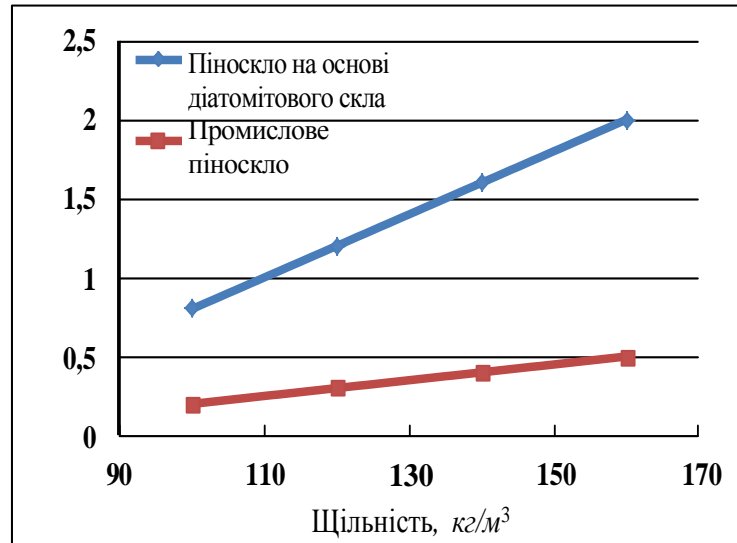


Рисунок 3.2 – Залежність міцності від щільності діатомітового і промислового піноскла

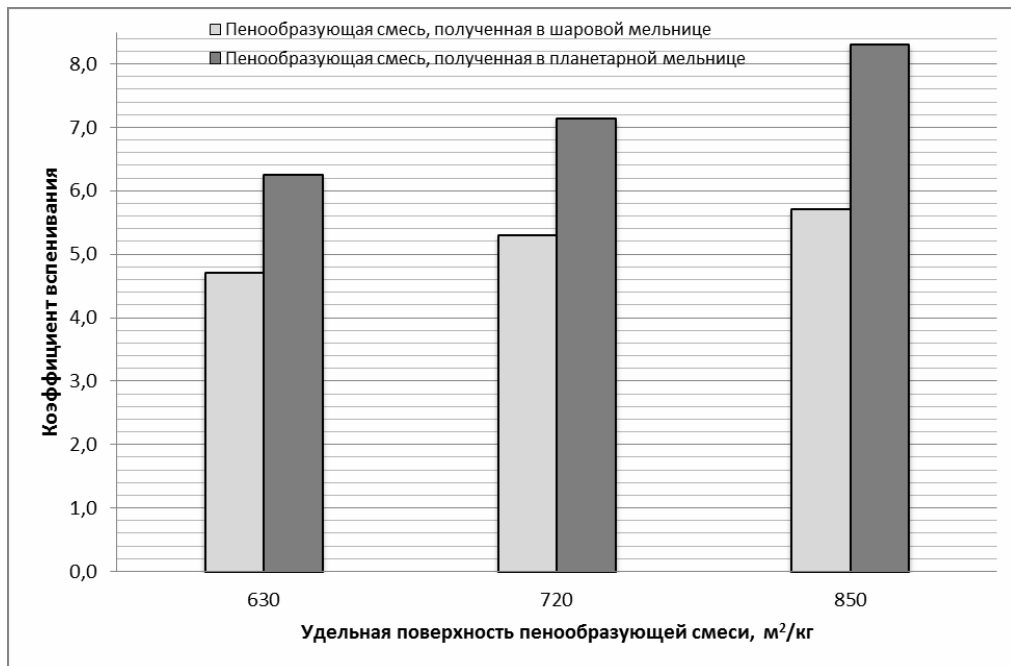
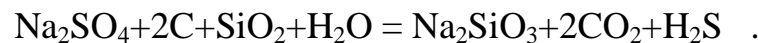


Рисунок 3.3 - Залежність коефіцієнта спінювання від питомої поверхні суміші і виду помольного агрегату

Коефіцієнт теплопровідності комірчастого скла відносно невисока – 0,055 - 0,085 Вт/(м·С). Цьому сприяє склообразне будова міжпорових перегородок, замкнуті дрібні пори ізоляційний - монтажного піноскла [12].

Усі види піноскла характеризуються високою біостійкістю. Матеріал легко піддається механічній обробці (пилению, шліфовці, свердлінню і тому подібне) Історично склалося, що для виробництва піноскла використовували сульфат - стекла, що містять. У монографії Б.К. Демидовича показані результати досліджень саме з такими свойствами. Своїми розрахунками автор доводить, що при відновленні Na_2SO_4 вуглецем в атмосфері водяної пари в силікатному склі реакція має вигляд [12]:



Використання піноскла, отриманого з сульфатного скла, зі змістом сірководня, в житловому будівництві сопряжено з певними обмеженнями. Унаслідок цього зусилля ряду досліджень були спрямовані, впродовж тривалого часу, на розробку технології піноскла з низкосульфатного і безсерного скла. Принципова можливість використання реакцій без участі сірковмісних з'єднань була показана Демидовичем, але на практиці така заміна припускає серйозні зміни в технологічній лінії, що не завжди виправдане економічно особливо при високому попиті навіть на піноскло що містить сірководень. Тому мета створення технології бессернистого піноскла доцільніше ставити на новостворюваних виробництвах.[2]

Іншою характеристикою вспененого скла, що відрізняється у різних виробників, є коефіцієнт паропроницаемость пеноматериала.

На практиці цивільного будівництва вважається перспективнішим використання паропроницаемых матеріалів у зв'язку з комфортнішими умовами проживання у відповідних конструкціях. Тому відповідні розрахунки по паропроницаемости увійшли до вимог існуючих СНиПов. Фахівці в питаннях теплоізоляції відмічають, що «для багатошарових

конструкцій питання паропроницаемости шарів, перенесення, кількісної оцінки випадного конденсату є питаннями первинної вологості [13].

Дефекти скла : газові, скловидні і кристалічні. Газові класифікують: за розміром (від доль мм до декількох мм); формі; цвіту. Газові включення розміром $< 0,8$ мм називають мошкою. За формою пухирі бувають: сферичної форми, еліпсоїдної, ниткоподібної. Бувають забарвлені і безбарвні. За походженням пухирі бувають: первинні (в результаті порушення технології процесу); вторинні (в результаті порушення температури газової фази).

Скловидні включення - це включення, до складу яких входять стекла іншого складу : ниткоподібні включення називаються завилькуватістю; грубі включення називаються шлирами. Причини завилькуватості і шлиров : погана підготовка неоднорідність шихти; використання при варінні скла іншого стеклобоя; залучення до вироботочний потоку застійної скломаси.

Кристалічні включення (камені растекловывания) утворюються в результаті непроварення шихти, руйнування вогнетривів, кристалізації скломаси. Вони утворюються в результаті порушення режиму варіння скла або через знос скловарної печі.

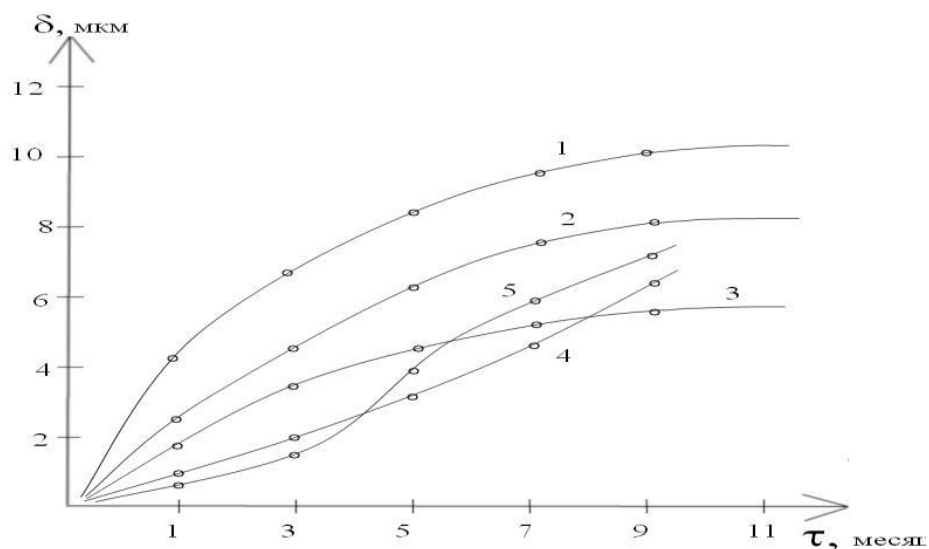
3.2 Корозійна стійкість композицій матриць терпких з наповнювачами з піноскла

Портландцементная матриця є лужним середовищем $pH = 9-13,5$ що активно взаємодіє з кислим середовищем скляних наповнювачів. На рис. 6 приведені результати випробування алюмоборосиликатных скляних кульок в модельній рідині - розчині $NaOH$ с $pH = 13$, з яких виходить, що чим менше діаметр гранул і, отже, більше питома поверхня, тим активніше взаємодія скла з лужним середовищем. При малих діаметрах не лише реакційна поверхня росте, але і покращуються умови для дифузії, підвода реагенту. Наявність макродефектів : порожнеч, пір, капілярів, мікротріщин на

поверхні, - збільшує питому поверхню, створюючи на ранніх стадіях процесу умови для проникнення в них рідини і пари (капілярний підсос), накопичення в порах проникаючого матеріалу в т.ч. продуктів реакції матриця - наповнювач. Утворення речовин в порах бетону у збільшеному об'ємі призводить до виникнення напруги і тріщин.

Процес корозії умовно ділиться на дві стадії: кінетична стадія процесу - хімічна взаємодія на межі розділу фаз цементна матриця - поверхня наповнювача або армуючого волокна; дифузійна стадія процесу - підведення реагентів до межі розділу фаз і відведення продуктів реакції.

Використання піноскла в якості пористого наповнювача цементної матриці породжує фізичні і хімічні процеси, пов'язані із специфічною природою матеріалів цієї композиції. На відміну від інших дисперсійних систем.



1 – 200 мкм, 2 - 100 мкм, 3 – 50 мкм, 5- 5 мкм

Рисунок 3.4 - Товщина кородованого шару в скляних гранулах в 1М розчині NaOH pH =13

На підставі прискорених випробувань композиційного бетону на гранульованому піносклі: бетону класу міцності В2 при співвідношенні піноскла і цементу 0,8:1 з об'ємною масою бетону 704 кг/м^3 в 1М розчині NaOH при температурі $80 \text{ }^\circ\text{C}$ зроблений висновок про відсутність небезпечних деформацій бетону.

Найбільш вірогідною причиною відсутності небезпечних деформацій є висока пористість гранул піноскла. Внутрішній масообмін в порах на першій стадії хімічної взаємодії розчину лужних компонентів цементу у воді, отже, і компонентів бетону, з силікатним середовищем піноскла росте. Вода і розчин лужних компонентів бетону поступають в пори за рахунок осмотичних молекулярних, електростатичних і інших сил. Продукти реакції корозії мають рихлу структуру, їх розчини розташовуються на поверхні і заповнюють пори наповнювача, маючи більший, ніж початкові реагенти питомий об'єм, створюючи додаткову напругу у виробках. Наявність пір компенсує напруга композиції, а продукти реакції заповнюють пори і уповільнюють дифузію реагентів до межі розділу фаз.

Уповільненню корозії сприяють і порові процеси. Розчин лужних компонентів бетону, що заповнює пору, утворює меніск. При рівноважній товщині плівки рідини в порі меніск вироджується в пряму лінію, проміжний стан між увігнутим (змочуюча плівка) і опуклим (не змочуюча плівка), енергетичний бар'єр при переході знижується при наближенні тиску в порі до зовнішнього тиску, при рості внутрішньої поверхні пори (критична площа в порах $r = 10 \text{ мкм} - 3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$, а при $r = 30 \text{ мкм} - 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$, т.к. порове тиск нижчий), при зменшенні діаметру пір зростає в 10-20 разів в'язкість води.

З іншого боку, в граничних шарах щільніша упаковка, молекулярний зв'язок ослаблений, розчинювальна здатність знижується. Таким чином, дрібнопористе піноскло більше корозійностійке. Лімітуючою стадією процесу є дифузія реагентів через шар первинних продуктів реакції, це відбувається впродовж декількох годин, при цьому кінетична стадія -

початковий період взаємодії піноскла з компонентами бетону, проходить досить інтенсивно.

В умовах дослідно-промислового виробництва проведено досвідчено варіння стеклогранулята на основі діатоміту в промисловій печі періодичної дії, яку було повністю проварено і освітлено, що підтверджується актом про досвідчене варіння. Після дослідно-промислового відпрацювання була випущена дослідна партія бетонних блоків з наповнювачем з піноскла, що підтверджується актом про виготовлення і випробування бетонних блоків з пеностекольним наповнювачем.

3.3 Застосування пористого скла у будівельних конструкціях

Само по собі скло, як аморфний оплавлений матеріал, має нульову паропроницяемость. Проте при частковій кристалізації піноскла можливе виникнення мікроскопічних розривів в місцях найбільш витончених. Питання теплової ізоляції фундаментів, особливо в регіонах з суворим кліматом, має бути на одному з перших місць. Застосування піноскла убереже фундамент від промерзання, допоможе уникнути утворення конденсату, поява вогкості, розвитку плісняви, руйнування несної конструкції. Утеплення підземної частини споруди піносклом дозволяє ліквідувати або істотно зменшити вплив сил морозного здуття на фундамент (рис. 3.5).

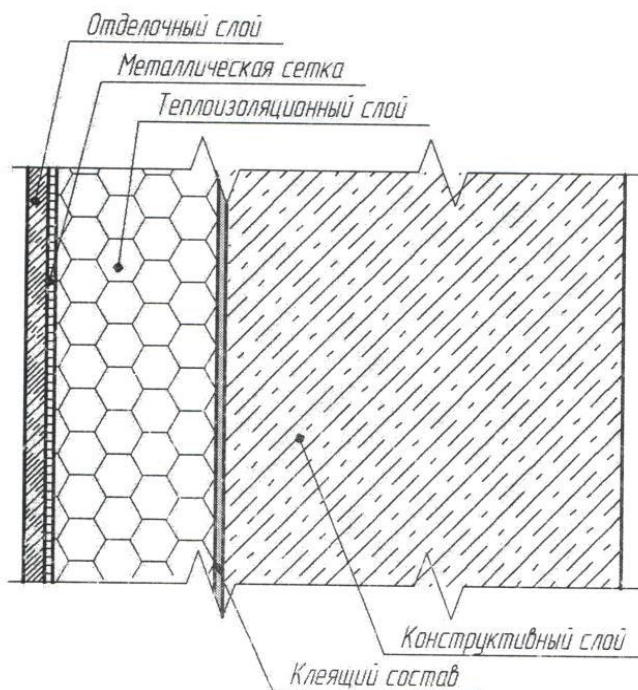


Рисунок 3.5 - Конструкция стіни із зовнішнім шаром теплоізоляції

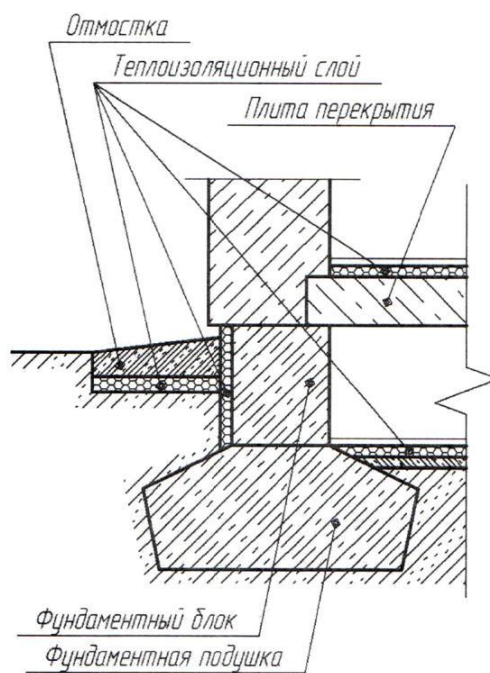


Рисунок 3.6 - Конструкция утепления фундамента і підвалу

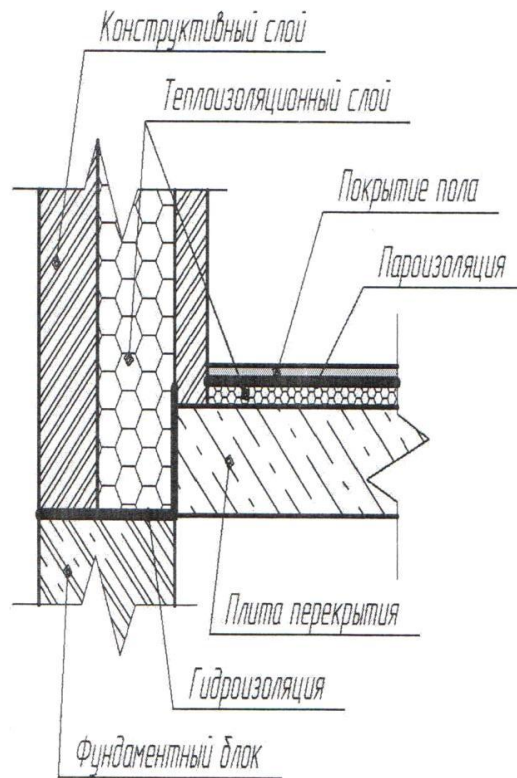


Рисунок 3.7 - Конструкція утеплення підлоги

Очевидно, що при порівнянні щільності і близькому значенні теплопровідності, піноскло в 4-5 разів перевершує по міцності керамзит. З точки зору матеріалознавства цей факт з'ясовний - піноскло практично не має мікропористості на відміну від керамзиту, а саме мікро-пористість є причиною розвитку руйнування матеріалу під навантаженням. Є і інші причини, високій міцності піноскла, пов'язані з характером і геометрією розподілу осередків газової фази в тілі матеріалу. Тому піноскло завжди має вищу відносну міцність порівняно з іншими матеріалами при однаковій щільності і відноситься це не лише до насипного матеріалу, але і до блокового [14].

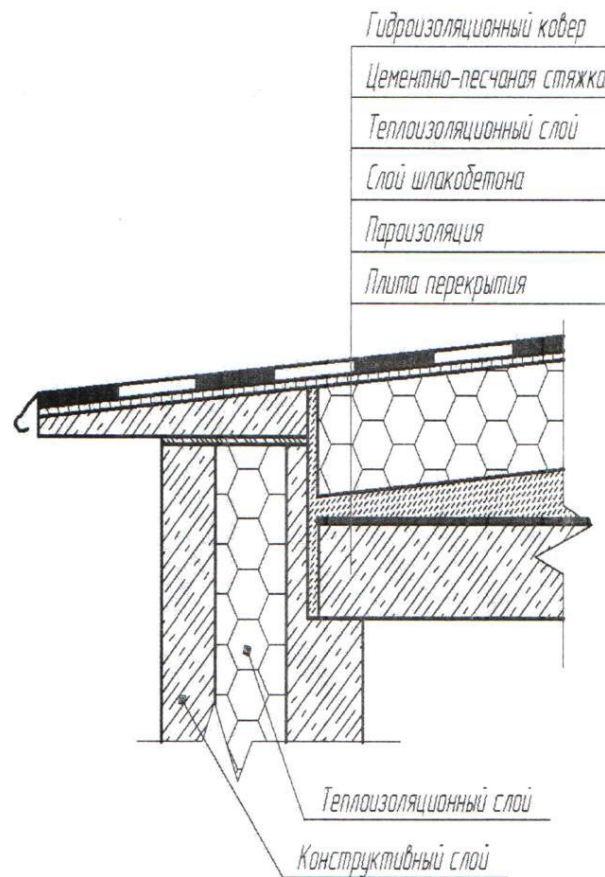


Рисунок 3.8 - Конструктивна схема утеплення кровлі

У роботі [15] розглянута технологія отримання бесшамотного високотемпературного теплоізоляційного матюкала.

Не дивлячись на це, порошкова технологія залишається основною при отриманні теплоізоляційних матеріалів на основі неорганічних матеріалів [16, 17]. Все більшого значення набувають питання пов'язані з проблема раціонального використання твердих побутових відходів шляхом використання їх у виробництві ефективних будівельних матеріалів [18].

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз системи $\text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ на основі діатоміту для отримання піноскла на основі діатоміту і піску, в яку для поліпшення технологічних властивостей шихти на основі діатоміту додатково вводяться крейда, нефелінова сода.

2. Досліджено для запропонованої шихти істинна і насипна щільність, питома поверхня, розподіл гранулометричного складу, залежність властивостей від вологості. Визначено, що в діатомітових шихтах є присутніми гідроалюмосилікати у кількості більше 10 %, які зберігаються до температури 600-680 °C; у діапазоні від 680 °C до 1100 °C спостерігаються тільки різні модифікації кварцу і аморфна фаза, після 1200 °C – тільки аморфна фаза. Окрім кварцу при температурі вище 700°C є присутніми натрій - кальцій - алюмосилікати змінного складу.

3. З аналізу встановлений оптимальний хімічний склад скла з температурою варіння на 200-250 °C нижче традиційних шихт на основі кварцевого піску і компоненти шихти діатоміт – 60-63 %, доломіт 13-16 %, кальцинована сода – 19-23 % і добавка сульфату натрію 0,45-1,0 %.

4. Показана можливість використання піноскла в якості наповнювача при виробництві легких і особливо легких бетонів. Проведений аналіз будівельних конструкцій з використанням теплової ізоляції на основі піноскляних блоків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Демидович Б.К. Производство и применение пеностекла. Минск: наука и техника. – 1972.-304с.
2. Демидович Б.К. Пеностекло. Минск: Наука и техника.-1975.-248с.
3. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А., Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат.- 1980.- 399с.
4. Мелконян, Р. Г. Аморфные горные породы – новое сырье для стекловарения и строительных материалов [Текст] / Р. Г. Мелконян. – Москва :НИА Природа, 2002. – 388 с.
5. А.С. СССР №1571015 МКИ СОЗ С11/00. Способ получения пеностекла. А.А. Григорян, Г.С. Мелконян, А.А. Саркисян. Оpubл. 15.06.90 Бюл№22.
6. Федосов С.В. Математическая модель динамики процесса порообразования при термической обработке пеностекольной шихты / С.В. Федосов, М.О. Баканов, А.В. Волков, А.И. Сокольский, Ю.А. Щепочкина// Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. -2014.-Т.57.-вып.3. – С. 73-79
7. Федосов С.В. Особенности получения композиционного строительного материала на основе пеностекла с защитно-декоративным покрытием/ С.В. Федосов, Ю.А. Щепочкина, М.О. Баканов// Строительство и реконструкция.-2013.-№3 (47). –С. 77-80
8. Федосов С.В. Композиционный материал на основе пеностекла с защитно-декоративным покрытием / С.В. Федосов, Ю.А. Щепочкина, М.О. Баканов// Строительство и реконструкция. -2012.№6(44). –С.109-114.
9. Китайгородский А.А. Технология стекла. М.: ГИС. -1961.-612с.
10. А.С. СССР №1089069 МКИ СОЗ С11/00. Шихта для получения пенопласта. Э.Р. Саякян. Оpubл. 30.04.84 Бюл.№16

11. А. С. СССР №1056894 МКИ СОЗ С11/00. Способ получения пеностекла. Кальман Тот, Иозеф Матрай, Пайом Тарьяни, Бела Тот. Оpubл. 23.11.83 Бюл.№43
12. Шилл Ф. Пеностекло.-М.: Стройиздат.-1965.-307с.
13. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России., - М.: ФГУП ЦПП, 2004, - 26 с.
14. Саакян Э.Р. Новые искусственные ячеистые материалы, легкие заполнители и изделия на их основе: Автореферат дисс. М., 1992.-22с.
15. Соков В.Н., Солнцев А.А., Лямзин Ф.М. Технология бесшамотного высоко-температурного теплоизоляционного материала.//Молодые ученые. №11 2016. С. 835-839.
16. Береговой В.А., Сорокин Д.С., Пеностекло на основе кремнистых опок.// Образование и наука в современном строительстве. Инновации. №5 2016. С. 157-163.
17. Береговой В.А., Сорокин Д.С., Закономерности формирования структуры пеноминеральных систем при производстве ячеистых строительных материалов.// Молодой ученый. №9 (89) 2015. С. 305-308
18. Соков В.Н., Логунин А.Ю., Егорова А.А. Производство эффективных строительных материалов на основе отходов стеклобоя и полистирола как решение проблемы ТБО.// Проблемы теории и практики современной науки. Материалы Международной научно-практической конференции. РИО ООО «Наука и образование» 2015. С. 39-40.