

Министерство науки и высшего образования РФ  
Южно-Уральский государственный университет (НИУ)  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Строительные материалы и изделия»

**ВКР ПРОВЕРЕНА**

Рецензент

/Е.Н. Ряховский/

«      »      \_\_\_\_\_  
2019 г.

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой

/А.А. Орлов/

«      »      \_\_\_\_\_  
2019 г.

**Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе**  
**08.04.01.2019.298.00.00.ПЗ**  
**Применение серпентина в производстве магнезиальных вяжущих веществ.**

Руководитель ВКР

/ А.А. Орлов /

«      »      \_\_\_\_\_  
2019 г.

Автор ВКР

Студент группы АС –269

/ Д.Н. Нуриманов /

«      »      \_\_\_\_\_  
2019 г.

Нормоконтролёр

/А.А. Курсанова/

«      »      \_\_\_\_\_  
2019 г.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИУ)**  
**Институт «Архитектурно-строительный»**  
**Кафедра «Строительные материалы и изделия»**

УТВЕРЖДАЮ  
и.о. зав. кафедрой «Строительные материалы и изделия»  
\_\_\_\_\_ А.А. ОРЛОВ  
\_\_\_\_\_ 2019г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выпускную квалификационную работу студента (ки)**

*Нуриманова Динара Нуровича*

---

**1. Тема работы**

*Применение серпентина в производстве магнезиальных вяжущих веществ*

---

*утверждена приказом по университету от 25.04.2019 г. № 899*

**2. Срок сдачи студентом (кой) законченной работы \_\_\_\_\_ 2019г.**

**3. Исходные данные к работе**

|    |  |
|----|--|
| 1. | <i>Литература, собранная во время прохождения преддипломной практики</i> |
| 2. | <i>Нормативная документация</i>  |

**4. Содержание пояснительной записки**

|     |   |
|-----|---|
| 1.  | <i>Литературный обзор.</i>  |
| 2.  | <i>Магнезиальные вяжущие.</i>   |
| 3.  | <i>Силикаты магния (Серпентин).</i>   |
| 4.  | <i>Серпентин как модифицирующий компонент.</i>                                      |
| 5.  | <i>Выводы по литературному обзору.</i>  |
| 6.  | <i>Цель и задачи.</i>   |
| 7.  | <i>Методы исследования и материалы.</i>   |
| 8.  | <i>Исследовательская часть. Магнезиальное вяжущее модифицированное серпентином.</i> |
| 9.  | <i>Технологическая схема производства разработанных составов.</i>                   |
| 10. | <i>Экономическая часть.</i>   |
| 11. | <i>БЖД.</i>   |
| 12. | <i>Выводы по работе.</i>  |

**5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| 1. | <i>Исходные материалы</i>             |
| 2. | <i>Методы исследования</i>            |
| 3. | <i>Свойства полученных материалов</i> |

|    |                                   |
|----|-----------------------------------|
| 4. | <i>Дериватографический анализ</i> |
| 5. | <i>Выводы</i>                     |

**6. Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы:**

| Раздел          | Консультант | Подпись                                    |   |
|-----------------|-------------|--|---|
|                 |             | Задание выдал<br>(подпись<br>консультанта) | Задание принял<br>(подпись<br>студента) |
| Технологический | Орлов А.А.  |  |   |
| Экономика       | Орлов А.А.  |  |   |
| БЖД             | Орлов А.А.  |  |   |

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_ 2019г.

Руководитель работы \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Задание принял(а) к исполнению \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

| № п.п. | Наименование этапов дипломной работы       | Срок выполнения этапов<br>работы | Отметка о<br>выполнении |
|--------|--|----------------------------------|-------------------------|
| 1.     | Литературный обзор                         | до 03.06.2019                    |                         |
| 2.     | Исследование материалов и методы испытаний | до 08.06.2019                    |                         |
| 3.     | Исследовательская часть                    | до 12.06.2019                    |                         |
| 4.     | Расчет экономической эффективности         | до 13.06.2019                    |                         |
| 5.     | Безопасность жизнедеятельности             | до 14.06.2019                    |                         |
| 6.     | Оформление пояснительной записки           | до 15.06.2019                    |                         |
| 7.     | Оформление графической части               | до 17.06.2019                    |                         |

Зав. Кафедрой \_\_\_\_\_ /А.А. Орлов/

Руководитель работы \_\_\_\_\_ /А.А. Орлов/

Студент(ка) – дипломник(ца) \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

## АННОТАЦИЯ

Нуриманов Д.Н. Применение серпентина в производстве магнезиальных вяжущих – Челябинск: ЮУрГУ, СМиИ, 2019, 84 с., 10 ил., 30 табл.

Библиографический список – 104 наименов.

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке композиционных вяжущих систем. Рассмотрены требования и методы испытаний, предъявляемые к магнезиальным цементам и затворителям. Приведены и оценены композиционные вяжущие разного состава.

Проведена оценка серпентинового сырья Баженовского месторождения. Разработаны составы композиционных вяжущих с разным соотношением компонентов.

|             |      |                |         |      |  |  |      |        |
|-------------|------|----------------|---------|------|--|--|------|--------|
|             |      |                |         |      | 08.04.01.2019.298.00.00.ПЗ                         |  |      |        |
| Изм         | Дата | № докум.       | Подпись | Дата |  |  |      |        |
| Разраб.     |      | Нуриманов Д.Н. |         |      | Пластифицированная<br>магнезиальная бетонная смесь | Стадия   | Лист | Листов |
| Проверил    |      | Орлов А.А.     |         |      |  |  | 5    | 84     |
| Нормоконтр. |      | Кирсанова А.А. |         |      |  | ЮУрГУ (НИУ)<br>Кафедра «Строительные<br>материалы и изделия» |      |        |
| Зав. каф.   |      | Орлов А.А.     |         |      |  |  |      |        |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| СОДЕРЖАНИЕ .....  | 6  |
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 8  |
| 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....   | 9  |
| 1.1 Актуальность темы исследования .....  | 9  |
| 1.2 Магнезиальные вяжущие .....   | 9  |
| 1.3 Силикаты магния.....  | 20 |
| 1.4 Применение серпентинов в составе композиционного вяжущего<br>вещества.....                                  | 26 |
| 1.5 Выводы по литературному обзору .....  | 27 |
| ЦЕЛЬ РАБОТЫ .....   | 28 |
| 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....   | 29 |
| 2.1 Исходные материалы.....   | 29 |
| 2.2 Физико-механические методы испытаний.....   | 34 |
| 2.3 Физико-химические методы испытаний .....  | 34 |
| 2.4 Математическое планирование эксперимента .....  | 36 |
| 3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....  | 41 |
| 3.1 Испытание исходного магнезиального вяжущего на неравномерность<br>изменения объёма.....                     | 41 |
| 3.2 Магнезиальное вяжущее модифицированное серпентином .....  | 41 |
| 3.3 Выводы по результатам испытаний .....   | 54 |
| 3.4 Дериватографическое исследование .....  | 55 |
| 4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....   | 58 |
| 5 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ .....  | 59 |
| 6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ .....  | 60 |
| 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....   | 61 |
| 7.1 Описание рассматриваемого проекта, процессов, применяемого<br>оборудования, механизмов, условий труда ..... | 61 |
| 7.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....  | 61 |

|  |    |
|--|----|
| 7.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды.....     | 62 |
| 7.4 Запыленность и загазованность рабочей зоны.....            | 68 |
| 7.5 Безопасность производственных процессов оборудования ..... | 68 |
| 7.6 Электробезопасность.....                                   | 70 |
| 7.7 Пожаробезопасность .....                                   | 71 |
| 7.8 Охрана окружающей среды .....                              | 72 |
| ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ: .....  | 74 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....                                  | 75 |

## ВВЕДЕНИЕ

Не смотря на консервативность рынка строительной индустрии, на сегодняшний день отмечается необходимость в использовании аналогов традиционных строительных материалов, не теряя при этом высокого качества возводимого жилья и максимально возможного ресурсосбережение. В связи с этим производство строительных материалов и изделий испытывает потребность в инновациях, модернизации существующих технологий, развитии использования отличающихся высокой экологичностью а так же физико-механическими свойствами. Такими материалами можно назвать материалы на основе применения оксида магния, магниевые вяжущие, отличающиеся высокой энергоэффективностью благодаря высокой прочности в ранние сроки твердения, что позволяет отказаться от ТВО.

Кроме того, магниевые материалы обладают антисептическими свойствами, не искрят, не пылят, стойки к истиранию, обладают низкой теплопроводностью, благодаря чему возможно эффективное применение таких материалов в внутренней отделке, а также в устройстве полов. [3,4,5,6,7].

Особенный интерес в разработке таких материалов вызывает возможность использования побочных продуктов промышленности содержащим серпентины. В настоящее время накоплено огромное количество таких материалов, однако практически отсутствуют решения по их утилизации.



# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Актуальность темы исследования

По ориентировочным подсчетам, в мире насчитываются десятки месторождений, содержащие миллиарды тонн магнийсодержащих горных пород ультраосновного состава, такие как Киембаевское (Россия), Джетыгаринское (Россия), Боженовское (Россия), Перидот-Меца (США), Боуэлл-Парк (США), Зебергед (Египет) и др. В этих породах содержатся различные металлы такие как: железо, никель, хром и др. Кроме металлов эти породы содержат асбест, алмазы, слюды и другие полезные ископаемые, вместе составляющие предмет добычи ГОК-ов, хотя нередко полезные ископаемые составляют доли процента от общей массы добытой горной породы. Итогом такой добычи становятся многие миллионы тонн силикатов магния, направляющиеся в хвостохранилища, засоряя тысячи гектаров земной поверхности. Перспективным направлением использования магнийсодержащих отходов является производство вяжущих веществ. Это позволит заменить более дорогие традиционные вяжущие в производстве многих строительных материалов. Использование отходов, содержащих силикаты магния, позволит в значительной степени улучшить экологическую обстановку. Поэтому применение такого сырья является актуальным вопросом в настоящее время, решение которого поможет улучшить экологическую обстановку.

## 1.2 Магнезиальные вяжущие

В 1867 году цемент Сореля или магнезиальный цемент был открыт французом Станиславом Сорелем. Данный цемент изготавливается путём затворения мелкодисперсного порошка оксида магния водным раствором хлорида магния.

В последнее время изучение магний оксихлоридов открывает новые горизонты для их промышленного применения, например: напольная плитка, огнеупорные материалы, пенобетоны, теплоизоляционные материалы, использование в дорожном строительстве, использование в зонах низких температур и агрессив-

ных сред. По сравнению с портландцементом магнезиальные вяжущие обладают множеством преимуществ: более низкая плотность, более высокая прочность, отсутствие необходимости тепловлажностной обработки, более высокая морозостойкость и т.д. Это делает данный материал актуальным для активного использования в строительной индустрии.

### 1.2.1 Гидратация магнезиальных вяжущих

Общие принципы твердения магнезиальных цементов рассматривались в ряде зарубежных и отечественных публикаций.

В. Тупер, Л. Карц, Т. Деменик и В.Файкнехт доказали, что стабильными продуктами твердения магнезиального вяжущего при низких концентрациях затворителя до 1,20 г/см<sup>3</sup> представляют собой смесь  $Mg(OH)_2$  и  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ .

Применение же затворителя с более высокой концентрацией приводит к формированию магнезиального камня из  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$  и  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ , с более низкой концентрацией хлорида магния в магнезиальном камне преобладает  $Mg(OH)_2$  [31,32,33].

Отношение  $MgO$  к  $MgCl_2$ , а, так же  $MgCl_2$  к  $H_2O$  являются принципиально важными параметрами, влияющими на свойства получаемого магнезиального камня, а также его фазовый состав, виды формируемых камень гидратов.

Основными продуктами гидратации магнией оксихлоридов являются:

- пентаоксигидрохлорид магния  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ ;
- триоксигидрохлорид магния  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$ ;
- гидроксид магния  $Mg(OH)_2$ .

При затворении происходит непрерывное связывание воды растворителя в оксигруппы гидроксида магния и оксихлорида магния до затвердевания системы, гидроксид магния и оксихлорид магния образуются на стадии гидролиза соли бишофита, в виде коллоидных частиц.

Коллоидные частицы кристаллизуются мгновенно.

Для магнезиальных вяжущих характерно быстрое твердение. Прочность магнезиального камня в первые сутки составляет 50 %, а к 7 суткам около 90 % от 28 суточной [9]. Так как быстрый набор прочности обеспечен естественным путем, нет необходимости в проведении тепловой обработки, что дает преимущество в энергоэффективности по сравнению с аналогами.

Изучение особенностей структуры магнезиального камня помогло выявить, что для формирования структуры магнезиального камня большое значение имеет отношение оксида магния к хлориду магния. При оптимальных значениях этого отношения формирование камня происходит из тонкодисперсных или призматических кристаллов образующих плотную структуру с низкой пористостью закрытого типа, обладающую непроницаемостью по отношению к газам и воде, а также создающую материал высокой прочности.

Однако, пентаоксигидрохлорид магния под действием атмосферного  $\text{CO}_2$  способен медленно карбонизировать и переходить в  $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 2\text{MgCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Данный процесс происходит только на поверхности магнезиального камня, поэтому существенно не влияет на его прочность. При воздействии на магнезиальный камень воды, на его поверхности накапливается  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  и гидромагнезит ( $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). Гидромагнезит и гидроксид магния имеют низкую растворимость и выступают в качестве защитного покрытия на поверхности магнезиального камня, снижая скорость изменения его фазового состава и разрушения. В результате изделия на основе хлормагнезиального вяжущего могут эксплуатироваться достаточно долго, около 20 лет [2].

Стоит отметить, что возможно получение магнезиального камня не только на основе раствора бишофита, но и  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ , а также на основе воды, без добавления солей. Однако такие магнезиальные камни плохо изучены и обладают более низкими прочностными характеристиками.

### 1.2.2 Свойства и требования к ним

Нормативной документации на магнезиальное вяжущее в России не существует. ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические усло-

вия» предъявляет к ПМК-75 сильно упрощенные требования. Предъявленные требования не позволяют полностью оценить возможность использования ПМК-75 в строительстве. ПМК-75 является отходом производства в огнеупорной продукции и именно этом качестве его рассматривает ГОСТ 1216-87. Этот ГОСТ недостаточен для выявления методов управления свойствами магнезиального камня на ПМК-75, а также понимания того как технические характеристики ПМК-75 влияют на свойство магнезиального камня на его основе.

Уровень свойств вяжущих материалов определяется в первую очередь химическим и минералогическим составом применяемого вяжущего. Качественные характеристики минерального вяжущего, порошка цемента обусловлены присутствием и количеством реакционноспособных активных составляющих. Это гидравлически активные минералы портландцементного клинкера, частицы полуводного гипса гипсового вяжущего, активный каустический оксид магния в магнезиальном вяжущем. Так же реакционная активность минерального состава, вяжущего зависит от технологических режимов термообработки. Классическое магнезиальное вяжущее должно характеризоваться большим содержанием активного MgO, получаемого при обжиге магнезиальных пород в температурном интервале 600 – 800 °С. При этом формирующиеся частицы оксида магния должны обладать определенной степенью кристалличности и размером кристаллов до 35 – 43 нм[8].

Содержание активного оксида магния близкое к 100 % в магнезиальном вяжущем не желательно в связи с возможностью возникновения трещин при гидратации, так как образование гидроксида магния протекает с большим увеличением объема. Наиболее прочный бездефектный магнезиальный оксихлоридный камень получают при содержании активного MgO ниже 100 % и с остатком неразжившихся частиц карбоната магния с высокодефектной структурой [10].

Так же существует теория, что склонность к объемным деформациям магнезиального камня, особенно на ПМК-75, связана с присутствием в готовом вяжущем значительного количество пережога, неактивного MgO. Предполагается, что данная проблема решается введением более активным катионами, например, Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> и другие. Однако это приводит к значительному снижению прочности

магнезиального камня, поэтому данное решение нецелесообразно и требуются дополнительные исследования по природе появления и снижению растрескивания в магнезиальном камне.

Классифицировать по данным Хорошавина и др. [11] синтетические оксиды магния по режимам обжига можно на четыре группы:

– дисперсные периклаз, получаемые при обжиге от 450 до 750 °С – высокоактивный, слабообожжённый MgO;

– каустический периклаз (ПМК), являющийся продуктом обжига высокомагнезиальных пород. Его также называют каустическим магнезитом, так как его получали из магнезита – природного минерала. На данный момент данный материал получают и при обжиге других высокомагнезиальных пород;

– спечённый периклаз, получаемый обжигом брусита и магнезита при 1500 – 2000 °С;

– плавённый периклаз, являющийся продуктом плавления, спеченного периклаза из природного бруситового или высокомагнезиального сырья при температуре 2800 °С.

Магнезиальное вяжущее необходимо охарактеризовать определенным набором свойств, влияющих на возможность обеспечения высокого качества строительных изделий и материалов.

Благодаря исследованиям, проводимым на кафедре «Строительные материалы» ЮУрГУ в течении многих лет, были выявлены свойства магнезиальных вяжущих оказывающие большое влияние на возможность их применения в строительстве, проще говоря на их качество:

- Хим. состав
- тонкость помола
- нормальная густота
- сроки схватывания – начало и конец
- равномерность изменения объема
- насыпная плотность в виброуплотненном состоянии

- механическая прочность.

Требования к этим свойствам сведены в технические условия ТУ 5744-001-60779432-2009 «Магнезиальное вяжущее строительного назначения. Технические условия» [12,13], созданные с учетом требований действующих стандартов ГОСТ 1216-87 [17], EN 14016–2004 [16] и ранее действовавших ОСТ 3035-33 и DIN 273-2:1963-07 [15], и избавленные от их недостатков.

#### Химический состав

Химический состав должен отвечать требованиям, приведенным в таблице 1 (согласно требованиям, ТУ 5744-001-60779432-2009) [18].

Таблица 1 – Химический состав магнезиального вяжущего

|   |   |
|---|---|
| Содержание оксида кальция (CaO)                     | не более 6                                  |
| Содержание оксида кремния (SiO <sub>2</sub> )       | не более 20                                 |
| Потери при прокаливании                             | не более 8                                  |
| Свободная влага, испаряющаяся при нагреве до 110 °С | отсутствует                                 |
| Показатель  | Норма, массовая доля (на сухое вещество), % |
| Содержание оксида магния (MgO)                      | не менее 75                                 |
| Содержание «пережога» MgO                           | не более 5                                  |

#### Физико-механические свойства.

Насыпная плотность при вибрировании должна составлять 1150-1350 кг/м<sup>3</sup>, при тонкости помола по остатку на сите 008 не более 15% [18].

Согласно техническим условиям [18] тонкость помола вяжущего должна соответствовать остаткам на ситах:

- № 02 – не допускается;
- № 008 – не более 15 %.

Соответствие требованиям технических условий [18] позволит выявить качественное вяжущее строительного назначения для долговечного материала с высокими характеристиками прочности.

## Механические свойства

Нормальная густота характеризует минимальное количество водного раствора затворителя, позволяющее получить тесто такой консистенции, при испытании которой прибором Вика пестик бы входил в тесто на 4-10 мм.

Определяется НГ в соответствии с ГОСТ 1216-87.

Магнезиальное теста при НГ и затворенное водным раствором  $MgCl_2$  плотностью  $1,20 \text{ г/см}^3$  должно иметь начало схватывания не ранее 40 минут, а конец не позднее 6 часов с момента затворения.

Сроки схватывания дают нам понять не только о том, как работать с вяжущим, но и о том насколько активен в нем оксид магния.

Равномерность изменения объема определяется по образцам лепешкам, образцы лепешки формируют из смеси с НГ, затем после суток твердения на воздухе помещают на сутки в воду, после суток в воде и дальнейшего высыхания на образцах не должно быть трещин, а также образцы не должны изменить свою форму [19].

Так же как и сроки схватывания, равномерность изменения объема определенная на образцах лепешках, дает нам информацию не только о внутренних деформациях, связанных с неравномерностями изменения объема но и в том числе является непрямым показателем активности, а также качества магнезиального вяжущего.

При использовании качественного магнезиального вяжущего обожжённого по мягкому режиму без пережога и недожога образцы-лепешки сохраняют целостность и не образуют трещин даже после длительной выдержки в течении 7 суток. Это можно объяснить тем, что качественное магнезиальное вяжущее затворенное раствором бишофита с плотностью  $1,20 \text{ г/см}^3$  образует однородный плотный и прочный камень в основе которого лежат оксигидрохлориды магния.

$R_{сж}$  образцов магнезиального камня изготовленных из качественного вяжущего при НГ:

- 1 сутки 10 МПа;
- 28 суток твердения 40 МПа.

$R_{сж}$  и  $R_{изг}$  являются важной характеристикой для любых строительных изделий, не исключая магнезиальные вяжущие. Эти характеристики присутствуют во многих международных стандартных, однако в российском они отсутствуют.

Величина  $R_{сж}$  на 1 сутки твердения при нормальных условиях говорит об активности вяжущего, а прочность вяжущего после 28 суток твердения говорит об его марке.

Способность магнезиального камня выдерживать воздействие воды характеризуется водостойкостью, оцениваемой по коэффициенту размягчения определяемому по отношению прочности при сжатии половинок балочек 4x4x16 см. выдержанных в воде в течении 1 суток и сухих.

$$K_{разм} = R_{вл}/R_{сух}.$$

Коэффициент размягчения зависит от вида затворителя, активности вяжущего, и равномерности изменения объема, обычно его значение составляет 0,56 – 0,65.

Магнезиальное вяжущее относят к классу вяжущих воздушного твердения [2019].

Гигроскопичность – способность поглощать воду из воздуха для магнезиального камня и изделий на его основе зависит от вида используемого затворителя. Так, гигроскопичность магнезиального камня получаемого на хлориде магния может достигать 7 – 9 %, а использование в качестве затворителя сульфата магния снижает ее до 3 – 1 %.

Истираемость. Магнезиальный камень в сухих условиях имеет очень низкую истираемость, которая составляет не более 1,5 %. Магнезиальные материалы применяют как абразив.

Огнестойкость. Материалы из магнезиальных вяжущих обладают высокой огнестойкостью. Это обусловлено тем, что гидратные составляющие магнезиального камня – гидроксид и гидрооксихлориды магния теряют воду в области 450 – 550 °С, при этом на испарение кристаллизационной воды тратится значительное количество энергии. Кроме этого, многие отделочные и стеновые магнезиальные материалы обладают высоким термическим сопротивлением [18].



### 1.2.3 Деформации магнезиального камня

Исследование причин, вызывающих образование трещин в магнезиальном камне при эксплуатации и снижение водостойкости выявило следующее.

– вяжущие разных изготовителей отличаются степенью закристаллизованности  $MgO$ , что нормативной документацией до настоящего времени не регламентируется;

– строители не знают, с каким вяжущим по активности и степени закристаллизованности им приходится работать и как из него получить стабильный и качественный материал;

Степень закристаллизованности в большой степени влияет на активность и свойства оксида магния, при разной степени закристаллизованности структура камня будет формироваться по разному. Так же закристаллизованность влияет на процессы гидратации вяжущего, что отразится на свойствах и структуре получаемого магнезиального камня.

Если использовать магнезиальные вяжущие, удовлетворяющие разработанным техническим требованиям [12], то при его затворении водными растворами  $MgCl_2$  с плотностью 1,22 – 1,26 г/см<sup>3</sup> можно получать качественные строительные материалы. Но на практике все обстоит иначе.

Во-первых, оценить пригодность для строительных работ поступающего на Российский рынок магнезиального вяжущего, так называемого «каустического магнезита» согласно ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические» практически невозможно [17].

Во-вторых, в литературе нет сведений о том, как необходимо управлять гидратацией и структурообразованием вяжущих с разной степенью закристаллизованности  $MgO$ . На современный строительный рынок поступают магнезиальные вяжущие, полученные обжигом кристаллических магнезитов древних осадочных толщ, и, как правило, часто содержащие пережог, или высокоактивные, слабозакристаллизованные минералы.

Обжиг природных магнезитов оказывает большое влияние на гидравлическую активность каустического магнезита.

Максимально активный магнезит образуется при обжиге в диапазоне температур 650 – 900 °С. При увеличении температуры гидравлическая активность будет падать до 1400 °С после этой температуры образуется магнезит, почти не проявляющий гидравлической активности.

Падение гидравлической активности происходит в следствии полной декарбонизации, следовательно, для получения качественного среднеактивного магнезиального вяжущего магнезит следует обжигать в диапазоне температур 660 – 800 °С что позволяет получить неполную степень декарбонизации.

Новообразованный каустический магнезит, будучи по составу и структуре аналогом периклаза, отличается от последнего рядом специфических особенностей: дефектностью структуры, повышенным параметром решетки, более низким показателем преломления, аномальной анизотропией, более низкой микротвердостью, пористой (ячеистой) текстурой кристаллических индивидов.

Однако даже на сырье с рекомендуемыми содержаниями карбонатов, пережжённого MgO и т.д. наблюдаются деформации в конечном продукте. В связи с этим выдвинуто предположение о том, что при отклонении количества и плотности раствора бишофита от оптимального, происходят фазовые изменения в полученном магнезиальном камне.

Так же в связи с большим количеством затворителя по сравнению с другими вяжущими, возможно деформации происходят за счёт расслоения приготовленной смеси в процессе твердения, что подтверждается отделением соли на образцах.

#### 1.2.4 Сырье для магнезиальных вяжущих

В настоящее время сырьем для магнезиальных вяжущих являются, в основном, карбонаты. В природе встречаются карбонаты магния  $MgCO_3$ , двойные карбонаты кальция и магния  $CaMg(CO_3)_2$  [7].

Магнезит  $MgCO_3$ , как и кальцит, кристаллизуется в виде ромбоэдрических кристаллов тригональной сингонии. Цвет магнезита белый с желтоватым или сероватым оттенком, иногда снежно-белый. Встречается и «аморфный» магнезит с характерным фарфоровидным раковистым изломом, кристаллическое строение которого обнаруживается лишь рентгенографически. Твердость магнезита 4-4,5, плотность 2,9-3,1 г/см<sup>3</sup>. Характерным отличием магнезита от кальцита является то, что он под действием соляной кислоты не вскипает на холоде, а растворяется лишь при нагревании.

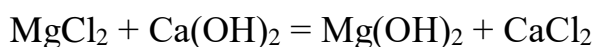
Доломит больше распространен, чем магнезит. Химическая формула доломита  $CaMg(CO_3)_2$ . По кристаллической структуре он отличается тем, что ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  попеременно чередуются вдоль тройной оси кристалла. Цвет доломита серовато-белый, иногда с желтоватым, буроватым или зеленоватым оттенком. Твердость 3,5-4,0, плотность 2,8-2,9 г/см<sup>3</sup>. По растворимости в HCl он занимает промежуточное положение между кальцитом и магнезитом.

Брусит –  $Mg(OH)_2$  кристаллизуется в триклинной сингонии. Имеет типичную слоистую структуру. Между двумя слоями гидроксильных групп OH лежит слой из ионов  $Mg^{2+}$ ; каждый ион  $Mg^{2+}$  расположен между шестью гидроксильными ионами и связан с тремя ионами одного слоя и тремя ионами другого. Цвет – белый, твердость 2,5, спайность, совершенная в одном направлении, плотность 2,3-2,4 г/см<sup>3</sup>. Встречается во всех массивах невыветренных серпентинов Урала, Кавказа, Сибири; волокнистая разновидность – в Баженовском месторождении асбеста.

$MgO$  входит в состав многих минералов и встречается в различных горных породах. Для народного хозяйства имеет очень большое значение. В первую очередь магнезиальное сырье идет для получения металлического магния, нужд химической и нефтехимической промышленности, а также для производства высококачественных огнеупоров. Поэтому выпуск магнезиальных вяжущих материалов, несмотря на то, что они обладают рядом ценных свойств, ограничен.

В последние десятилетия ведется большая научная работа по получению оксида магния из морской воды, и, в частности, из рапы ряда озер Присивашья.

Здесь уже действует экспериментальная установка по получению из рапы ценных веществ (бромидов, гидроксида магния и др.).  $Mg(OH)_2$  получается из рапы при осаждении известковым молоком:



Из побочных продуктов промышленности для производства каустического магнезита могут использоваться электронные шлаки, а также пыль, собираемая в пылеосадительных устройствах печей для обжига металлургического магнезита.

Так же перспективным направлением получения оксида магния является использование нетрадиционного магнийсодержащего сырья – серпентинитов или серпентизированных ультрабазитов, содержащих в своем составе до 40% окиси магния. Использование данного вида сырья позволяет вовлечь в процесс получения окиси магния, используемой для производства огнеупоров, металлического магния и магнезиальных цементов практически неограниченные запасы природного и техногенного дешевого сырья.

### 1.3 Силикаты магния

#### 1.3.1 Распространенность и запасы силикатов магния

Гидросиликаты магния и их содержащие породы очень распространены в природе, запасы только наиболее крупных массивов на территории РФ подсчитаны в районе 75 млрд. т.

Крупнейшие залежи данных пород в РФ встречаются:

- на Урале – 23 млрд.т
- Кольском полуострове и Карелии – 19 млрд.т
- Восточной Сибири – 17,6 млрд.т
- Алтае-Саянском регионе – 8 млрд.т [9].

Основная проблема для экологии от добычи полезных ископаемых, содержащихся в данных породах, состоит в том, что около 97% - 99% добываемой породы идет в отвал [10].

В наше время в отвалах уже находятся сотни миллионов тонн отходов добычи. Каждый год ГОК-и Северо-Западного региона пополняют свои отвалы более чем на 10 млн.т. и в связи с отсутствием эффективных путей утилизации отходы складированы в отвалах увеличиваются из года в год. Общий же объем отходов составляет около 40 млн.т.

Наглядным примером является добыча хризотил-асбеста, ведущаяся открытым способом, одновременно при которой добываются породы направляющиеся в отвал, эти породы составляют 92-97% серпентинов от общего количества добываемой руды.

Лишь часть из этих отвалов используется в виде балласта для железнодорожного и дорожного строительства, а также для получения песка, щебня, крупнозернистой посыпки. Количество отходов, задействованных для этих целей составляет всего 20 %, а остальные 80 % остаются не реализованными.

Для улучшения экологической обстановки рационально производить утилизацию асбоотходов из отвалов, что сократит их объем, освободив занимаемую площадь для сельского хозяйства или других нужд.

### 1.3.2 Серпентины, примесные минералы

Серпентин (от лат. *serpens* – змея) – группа минералов подкласса слоистых силикатов, магниевые-железистые гидросиликаты.

Химическая формула –  $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Химический состав  $\text{MgO}$  – 43,0 %,  $\text{SiO}_2$  – 44,1 %,  $\text{H}_2\text{O}$  – 12,9 %;

В виде примесей содержит обычно  $\text{FeO}$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и др.

Серпентины встречаются в виде плотных масс, кристаллов не образуют. Иногда имеют листоватое или волокнистое строение (хризотил-асбест) [7]. Однородно и светло окрашенная, нередко полупрозрачная, плотная разновидность серпентина носит название благородный серпентин и применяется в качестве поделочного камня. Окраска от зеленовато-жёлтого до тёмно-зелёного с пятнами различных цветов, которые придают им сходство с кожей змеи, отсюда название «змеевик». Образуются в корках выветривания ультрабазитов. При температурах

выше 400 – 450С° серпентин переходит в тальк и форстерит, а при химическом выветривании – в палыгорскит, сепиолит и монтмориллонит.

Для серпентина характерны неметаллический блеск, средняя твердость, зеленый цвет, часто наблюдаемое изменение окраски в разных частях образца, белая черта, отсутствие спайности и часто встречающиеся прожилки асбеста. Разлагается в серной и соляной кислотах с выделением кремнезема.

Благородный серпентин и красиво окрашенный обыкновенный серпентин находят применение в качестве поделочного и декоративного материала.

### 1.3.3 Генезис серпентинов

Серпентиниты образуются в процессе массового гидротермального изменения ультраосновных, главным образом оливинсодержащих, пород (дунитов, перидотитов и др.). Легче всех замещению серпентином подвергаются оливин и энстатит, затем диопсид, роговые обманки и др.

В процессе выветривания серпентинизированные породы постепенно карбонизируются и разлагаются, особенно сильно в условиях субтропического и тропического климата. При этом в виде остаточных продуктов на поверхности накапливаются землистые гидроокислы железа. Магnezия, связываясь с углекислотой воздуха, в виде бикарбонатов уходит в нижние горизонты зоны окисления. Кремнезем переходит в коллоидный раствор и выделяется в виде опала, нередко замещающего коренные породы. Точно так же никель в виде гидросиликатов подвергается некоторому переносу и отлагается в более низких горизонтах.

### 1.3.4 Применение серпентинов

По литературным данным [12], серпентины применяются в основном в качестве крупного заполнителя для бетона. А также предпринимались попытки использования серпентина в следующих строительных материалах и изделиях:

- вяжущее для растворов и бетонов [13];
- газобетонные смеси [13];

- автоклавный кирпич [14];
- керамические изделия (майоликовые изделия и керамическая плитка) [14];
- глазури и эмали [14];
- минеральная вата[13];
- каменное литье[13].

Так же гидросиликаты магния используются как сырье в асбестошиферном производстве, для изготовления керамических изделий специального назначения и огнестойких тканей [14].

Наиболее перспективными направлениями, являются применение серпентинов в качестве сырьевого материала для производства керамики, вяжущего для строительных растворов, а также для модификации магнезиального вяжущего.

### 1.3.5 Особенности обжига асбестовых отходов

Температуры обжига серпентина имеют большое влияние на активность итогового вяжущего. Для обеспечения максимальной активности магнезиального вяжущего необходимо подобрать оптимальную температуру обжига сырья, т.е. температуру, обеспечивающую минимальное содержание пережога и недожога MgO[11].

При низкой температуре обжига образуется большое количество недожога, что приводит к образованию вяжущего высокой активности. Такое вяжущее имеет короткие сроки схватывания и низкую трещиностойкость, за счет образования в ранние сроки значительного количества гидроксида магния, который обладает высокой усадкой и приводит к образованию трещин при высыхании образца. Высокая температура обжига приводит к повышенному содержанию пережога, который обладает низкой гидравлической активностью, что приводит к снижению прочности и трещиностойкости, за счет образования гидроксида кальция в поздние сроки твердения. [11].

Для достижения максимальной прочности образцов, необходимо обжигать материал при температуре 650 С°. Эту же температуру указывают как оптималь-

ную некоторые другие ученые. Таким образом, при обжиге отходов добычи хризотил-асбеста Киёмбаевского месторождения при температуре 650С° можно получать низкомарочное вяжущее, с пределом прочности при сжатии в 28 сутки около 7,5 МПа.

### 1.3.6 Применение серпентинов в производстве магнезиальных вяжущих веществ.

В настоящее время разработано множество способов переработки серпентинов для получения магнезиальных вяжущих веществ, однако большинство из них сопряжены с работой с опасными веществами и достаточно трудоемки, поэтому не получили применения в производстве.

1. Получение оксида магния из серпентинитов с помощью серной кислоты.

Проводится с применением серной кислоты концентрации 20–50 мас. %.

Измельченный серпентин и серную кислоту перемешивают в течении 2-3 ч. в результате чего получают осадок аморфного кремнезема и хлормagnetитовыми минералами и жидкую фазу. Далее отделяют осадок с помощью электромагнитной сепарации, из осадка отделяют SiO<sub>2</sub>, полученный фильтрат подвергается карбонизации кальцинированной содой для получения MgCO<sub>3</sub>.

Полученный карбонат магния подвергают термической обработке при 700 °С, в результате чего получают оксид магния.

2. Получение оксида магния из серпентинита с помощью сульфата аммония. Процесс проводится при 250–400 °С. Полученный после выщелачивания и нейтрализованный раствор подвергают осаждению металлов и отделяют их фильтрацией. Из фильтрата при помощи аммиака отделяют оксид магния а также карбонат магния осажденный карбонатом аммони. Из обоих осадков после термообработки получают оксид магния

3. Переработка серпентинитов соляной кислотой [15]. Самый длительный способ сопряженный с большим количеством примесей, в результате которого получают раствор хлорида магния, кремнезем и концентраты различных металлов



4. Переработка серпентина с помощью азотной кислотой [16]. При применении азотной кислоты сырье необходимо измельчить. После этого сырье прошедшее измельчение подвергают магнитной сепарации для разделения на немагнитную и магнитную часть. Немагнитная часть подвергается выщелачиванию азотной кислотой. После осаждения металлов в виде гидроксидов и очищения раствора полученный раствор упаривают до осаждения  $Mg(NO_3)_2 \cdot 8H_2O$  из которого при термообработке на 500–650 °С получают оксид магния.

Существуют и другие кислотные способы получения оксида магния из серпентина. Однако они все не слишком отличаются друг от друга и имеют существенные недостатки, не позволяющие использовать их в массовом производстве.

Наиболее перспективным является способ переработки с использованием топочного углекислого газа.

Способ получения оксида магния из отходов серпентинитовой руды включает подготовку отходов серпентинитовой руды, мокрую магнитную сепарацию для отделения магнийсодержащей суспензии от магнетита, выщелачивание с помощью минеральной кислоты, карбонизацию и отжиг. Подготовка отходов серпентинитовой руды производят термической активацией в печи при температуре 500–600°С и размолот термически активированного серпентинита до размера частиц менее 0,1 мм. Выщелачивание проводят с использованием топочного углекислого газа, образующего при пропускании через водную суспензию активированного серпентинита угольную кислоту  $HCO_3$  с водородным показателем рН 3,5–4,5.

Техническим результатом является повышение скорости процесса и степени извлечения благодаря большей доступности заблокированных пустой породой включений растворяемого минерала.

Технической проблемой, решаемой изобретением, является необходимость работы с экологически вредными веществами - серной кислотой, гидроокислами металлов хром-никель-железистого состава. Другой технической проблемой является недостаточная эффективность процесса переработки серпентинита из-за неурегулированности гранулометрического состава исходного сырья

#### 1.4 Применение серпентинов в составе композиционного вяжущего вещества.

В работе Эрдман С. В. «Смешанные магнезиальные вяжущие повышенной водостойкости и изделий на их основе с использованием природных магнийсодержащих» была выявлена зависимость гидравлической активности от дисперсности и пород гидросиликатов магнезия. Чем выше дисперсность, тем выше активность гидросиликатов магнезия. Исследованные в данной работе гидросиликаты магнезия в ряду гидравлической активности расположились в следующем порядке: 1 – диопсид, 2 – цеолит, 3 – серпентинит, 4 – треполит.

Без предварительной обработки серпентины не проявляют гидравлической активности.

Для того чтобы получить прочный и водостойкий магнезиальный камень, с использованием в составе смешанного вяжущего серпентина, серпентин необходимо измельчить в виброистирателе или в валковой мельнице до получения удельной поверхности 6000 – 7000 гр./см<sup>2</sup>.

Использование серпентинов в составе композиционного магнезиального вяжущего позволит снизить себестоимость вяжущего, а также увеличить водостойкость магнезиального камня.

Высокодисперсные силикаты магнезия в составе смешанного магнезиального вяжущего играют роль микронаполнителя увеличивая плотность и водостойкость образующегося камня. Однако благодаря проявлению серпентином слабой гидравлической активности серпентин будет так же действовать как активная минеральная добавка способствующая образованию прочной структуры.

При этом тонкоизмельченные силикаты магнезия выполняют в системе с магнезиальным (оксохлоридным) твердением роль как микронаполнителя, способствующего повышению плотности и водостойкости образующегося камня, так и активного компонента, участвующего в образовании прочной кристаллизационной структуры. Активные силикаты магнезия уплотняют поверхностный слой матрицы.

## 1.5 Выводы по литературному обзору

1. В настоящее время на территории Уральского Федерального округа и других областей накопилось большое количество отходов добычи асбеста, которые небезопасны для жизни населения и вредны для окружающей среды, требуют утилизации.

2. Баженовское месторождение является самым крупным и богатым по количеству отходов, накопившихся за долгое время существования. Основной состав отвалов месторождения представлен серпентином – минералом с химической формулой  $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

3. В настоящее время наблюдается все большая необходимость использования отходов горнодобывающей промышленности, поиск способов переработки таких отходов имеет огромное значение.

4. При затворении композиционного магнезиального вяжущего возможно получение прочного искусственного камня. На прочность серпентин-магнезиального камня оказывает значительное влияние помол реакционно способного вещества.

5. При использовании серпентина в составе композиционного магнезиального вяжущего можно увеличить водостойкость магнезиального камня.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка состава композиционного магниезиального вяжущего

Задачи работы:

1. Выявить влияние серпентина на прочность и водостойкость магниезиального камня.
2. Выявить влияние обожжённого серпентина на прочность и водостойкость магниезиального камня.
3. Выбрать оптимальные дозировки компонентов для получения материала с наилучшим сочетанием свойств.
4. Исследовать минералогический состав композиционного вяжущего

## 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Исходные материалы

#### 2.1.1 Серпентин

Для подготовки серпентина использовали лабораторный виброистиратель. Каждый из 4-х стаканов виброистирателя наполняли 200 г серпентиновой породы и измельчали в течение: 160 с. Серпентин измельчали до тонкости помола, соответствующей остатку на сите № 008  $15 \pm 5 \%$ . Такому помолу соответствует удельная поверхность около  $10000 \text{ см}^2/\text{г}$ .

РФА исходного материала.

На рисунке 1.1 представлена рентгенограмма исходного молотого серпентина.

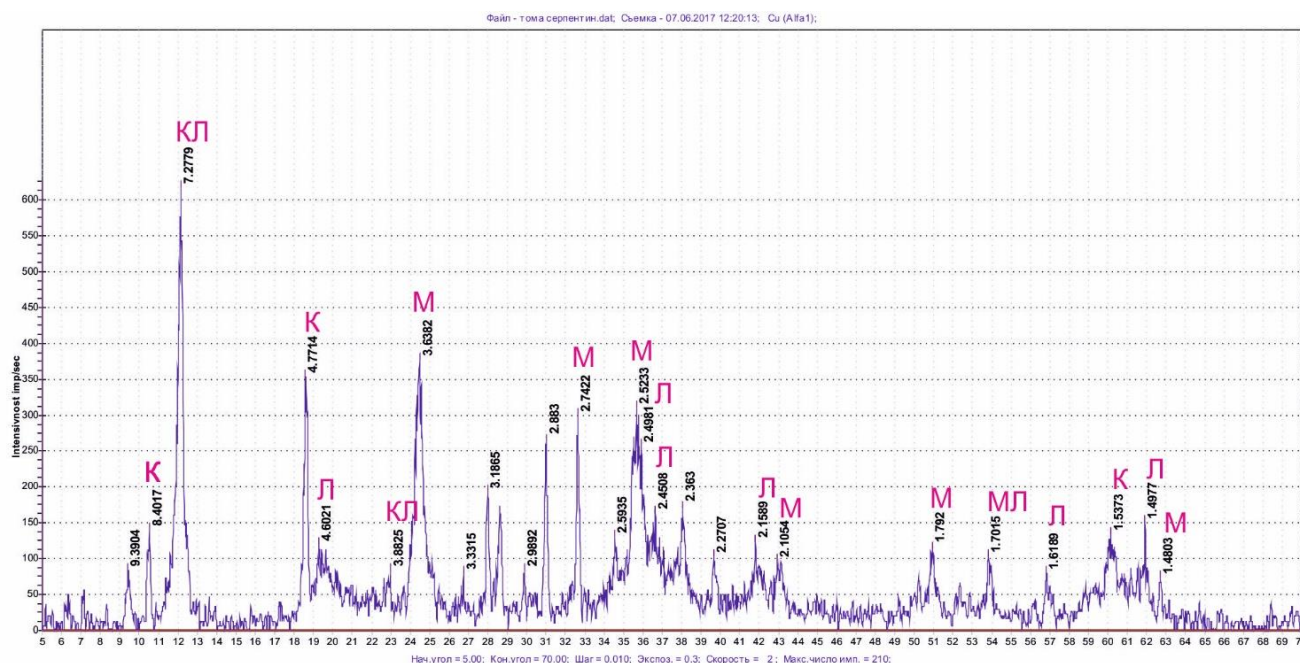


Рисунок 2.1 – Рентгенограмма исходной смеси  
правильное оформление

Исследования, проведенные методом РФА, выявили, что состав серпентина представлен серпентиновыми минералами: клинохризотилом  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  и лизардитом  $\text{Mg}_3\text{Si}_2(\text{OH})_4\text{O}_5$ . По результатам исследования также установлено

наличие в породе примесей магнезита  $MgCO_3$  (набор межплоскостных расстояний приведен в таблице 2.1).

Таблица 2.1 Минеральный состав серпентина

| Угол   | Межплоскостное расстояние | Минерал                                |
|--------|---------------------------|--|
| 11,397 | 7,7579                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$                    |
| 12,162 | 7,2710                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4, Mg_3Si_2(OH)_4O_5$ |
| 18,610 | 4,7640                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$                    |
| 19,246 | 4,6078                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 19,672 | 4,5092                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$                    |
| 22,884 | 3,8830                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 24,446 | 3,6383                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4, Mg_3Si_2(OH)_4O_5$ |
| 25,197 | 3,5340                    | $MgCO_3$                               |
| 32,645 | 2,7408                    | $MgCO_3$                               |
| 33,727 | 2,6553                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 34,569 | 2,5925                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$                    |
| 35,460 | 2,5294                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$                    |
| 35,720 | 2,5116                    | $MgCO_3$                               |
| 35,976 | 2,4943                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 36,847 | 2,4373                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 41,201 | 2,1892                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 42,033 | 2,1478                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 43,164 | 2,0941                    | $MgCO_3$                               |
| 46,574 | 1,9484                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 47,057 | 1,9305                    | $MgCO_3$                               |
| 49,993 | 1,8229                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 50,923 | 1,7918                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 51,801 | 1,7634                    | $MgCO_3$                               |
| 52,607 | 1,7383                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 53,889 | 1,6999                    | $MgCO_3, Mg_3Si_2(OH)_4O_5$            |
| 58,826 | 1,5685                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 60,109 | 1,5384                    | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$                    |
| 61,494 | 1,5067                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 61,926 | 1,4974                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 62,696 | 1,4806                    | $MgCO_3$                               |
| 65,120 | 1,4313                    | $Mg_3Si_2(OH)_4O_5$                    |
| 66,653 | 1,4026                    | $MgCO_3$                               |
| 68,175 | 1,3745                    | $MgCO_3$                               |
| 68,442 | 1,3698                    | $MgCO_3$                               |
| 69,200 | 1,3580                    | $MgCO_3$                               |

ДТА исходного материала.

На рисунке 2.2 представлена дериватограмма исходного молотого серпентина.

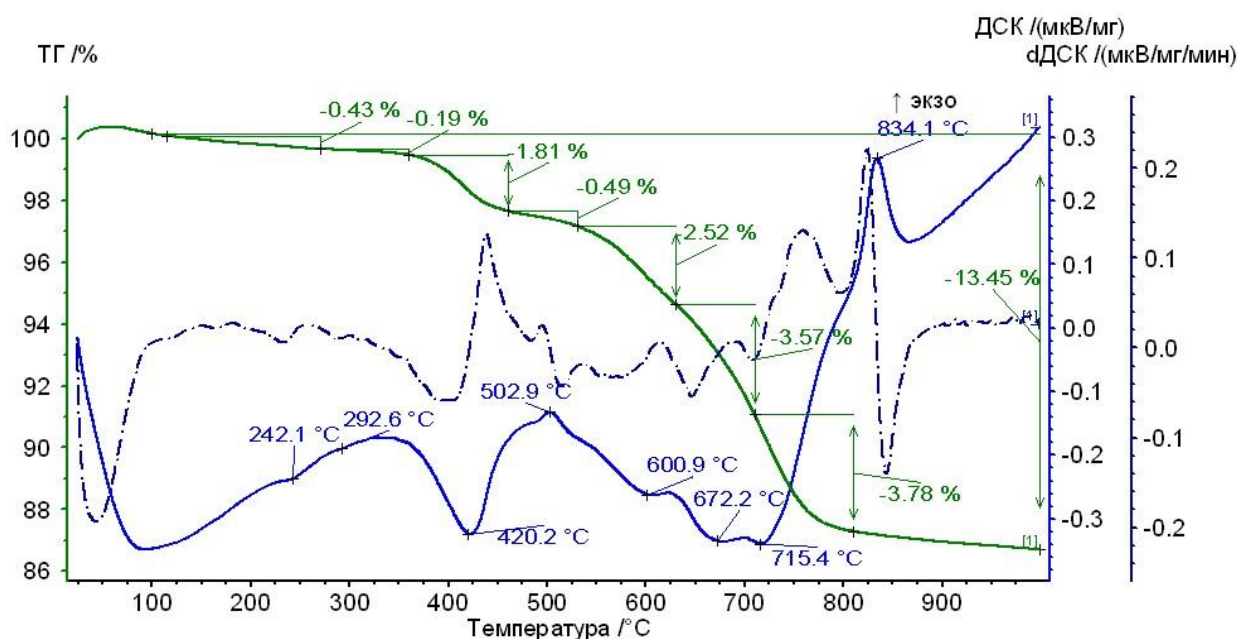
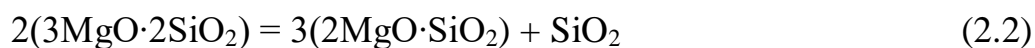
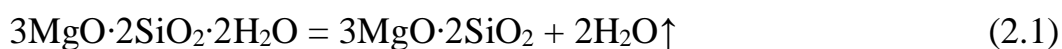


Рисунок 2.2 – Дериватограмма исходного серпентина

Потери при прокаливании, характеризующие общее количество связанной воды и газообразной фазы составляют 13,45 %. На кривой ТГ видно, что от 110 °С до 810 °С проходит ступенчатая дегидратация серпентина. После окончания дегидратации проходит кристаллизация форстерита в интервале температур от 800 до 870 °С. При 834 °С наблюдается экзотермический эффект, этот пик соответствует кристаллизации форстерита  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ .



Энергию, выделившуюся при кристаллизации можно найти как площадь пика на графике кривой ДСК, значение равно 15,76 мкВ/мг (рисунок 2.2).

Ранее по результатам рентгенофазного анализа выявлено, что в исходном серпентине также содержится примесь  $\text{MgCO}_3$ , которая разлагается в температурном интервале 540 – 650 °С, чему соответствует эндоэффект при температуре 600,9 °С, при этом диссоциация происходит по уравнению 2.3.



Учитывая это уравнение рассчитывали количество карбоната магния по потере массы в температурном интервале 540-650 °С. Содержание MgCO<sub>3</sub> в исходном серпентине составляет 4,83 %.

### 2.1.2 Магнезиальное вяжущее

В ходе предварительного эксперимента определены свойства магнезиального вяжущего (ПМК-75).

Магнезиальное вяжущее ПМК-75 («Комбинат «Магнезит», г. Сатка) соответствующий ГОСТ 1216-87 и разработанным на кафедре «Строительные материалы» ТУ 5745-004-70828456-2005 со следующими основными свойствами (таблица 3).

Таблица 3 – Основные свойства каустического магнезита ПМК-75

| Физические свойства  | Показатель |
|--|------------|
| Нормальная густота для плотности затворителя 1,1 г/см <sup>3</sup> (по погружению пестика прибора Вика 4...10 мм), % | 49         |
| Нормальная густота для плотности затворителя 1,2 г/см <sup>3</sup> (по погружению пестика прибора Вика 4...10 мм), % | 53         |
| Нормальная густота для плотности затворителя 1,3 г/см <sup>3</sup> (по погружению пестика прибора Вика 4...10 мм), % | 55         |
| Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>  | 1,27       |
| Физические свойства  | Показатель |
| Тонкость помола по остаткам на ситах, не более, %  |            |
| На сите 0,2 мм   | 4          |
| На сите 0,08 мм  | 13         |



Продолжение таблицы 3

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| Механические свойства                |           |
| Начало схватывания, не ранее, минут  | 40/45/70  |
| Конец схватывания, не позднее, минут | 60/55/120 |

Магнезиальные вяжущие являются вяжущим воздушного твердения, слабо сопротивляющиеся действию воды, которая вымывает из них растворимые соли ( $MgCl_2$  и др.). Их можно использовать только при твердении на воздухе ( $20 \pm 5^\circ C$ ) с относительной влажностью менее  $65 \pm 5\%$ .

Используемое в работе магнезиальное вяжущее характеризуется неравномерностью изменения объема. Решение применять данное вяжущее связано с требованиями производителей СМЛ, так как вяжущее равномерно изменяющее объем не доступно для приобретения.

### 2.1.3 Хлорид магния шестиводный технический (бишофит)

Технический хлористый магний (бишофит  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) использовали как добавку-интенсификатор обжига и как затворитель вяжущего.

Требования, предъявляемые к качеству бишофита, соответствовали ГОСТ 7759-73 (таблица 4).

Таблица 4 – Физико-химические показатели бишофита

| Наименование показателя | Требования по ГОСТ 7759   | Фактическое значение |
|-------------------------|---|----------------------|
| Внешний вид             | Чешуйки от белого до светло-серого цвета с оттенками от желтоватого до светло-коричневого | Чешуйки белого цвета |

Продолжение таблицы 4

|   |              |      |
|---|--------------|------|
| Массовая доля сульфат-ионов (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> , %            | не более 1,1 | 0,8  |
| Массовая доля ионов щелочных металлов (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), % | не более 0,8 | 0,2  |
| Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %                              | не более 0,2 | 0,15 |

## 2.2 Физико-механические методы испытаний

Для определения физико-механических свойств материалов использовали стандартные методики, приведенные в таблице 10.

Таблица 2.2 – Методы испытаний

| Вид испытаний   | Метод испытаний           |
|---|---------------------------|
| Нормальная густота, сроки схватывания магнезиального вяжущего   | ГОСТ 1216-87              |
| Прочность на изгиб при сжатии и изгибе магнезиального вяжущего, равномерность изменения объема, водостойкость, тонкость помола магнезиального вяжущего. | ТУ 5744-001-60779432-2009 |

## 2.3 Физико-химические методы испытаний

Термический метод анализа а также электронно-растровая микроскопия позволили определить фазовый состав исходного и композиционных вяжущих

### 2.2.1 Термический анализ

Исследование фазового состава и продуктов обжига проводилось с помощью термического анализа состоящего из трех методов анализа таких как: диф-

ференциально–термический анализа (ДТА), термогравиметрический анализ (ТГ) и дифференциально-термогравиметрический анализ (ДТГ).

ДТА позволяет определить изменения фаз в материале или превращения, происходящие в нем при нагревании по тепловым эффектам сопровождающим эти процессы.

Эффекты на дифференциальной кривой могут быть эндотермическими – с поглощением энергии, а также экзотермическими – с выделением энергии.

Эндотермические эффекты показывают протекание таких процессов как:

- Дегидратация;
- Плавление;
- Диссоциация;
- Полиморфные превращения.

Эффекты на дифференциальной кривой могут быть эндотермическими – с поглощением энергии, а также экзотермическими – с выделением энергии.

Экзотермические эффекты показывают протекание таких процессов как:

- Окисление;
- Образование новых соединений;
- Полиморфные превращения;
- Переход из аморфного в кристаллическое состояние.

Потери массы вещества показываются на кривой ТГ и выявляются с помощью динамического взвешивания.

В исследовании применялся дериватограф системы “Luxx STA 409” производства немецкой компании “Netsch”. После изучения литературных источников были назначены следующие режимы съемки и условия испытаний:

- Скорость подъема температуры в печи – 10 °С/мин.
- максимальная температура нагрева – 1000 °С.
- использовали платиновые тигли.
- нагрев проводили в среде азота.

## 2.4 Математическое планирование эксперимента

Математическая обработка результатов испытаний проводилась для исключения грубых ошибок, а также выявления доверительного интервала значений. Были проведены расчеты по определению средних значений, а также среднеквадратичных отклонений, по поиску грубых ошибок, доверительных ошибок среднего значения и коэффициента вариации.

### Определение грубых ошибок

Среди повторов опыта могут быть результаты, значительно отличающиеся от других. Если это обстоятельство является результатом появления "грубой" ошибки, то ее можно выявить одним из следующих способов.

Грубая ошибка определяется сравнением табличной величины критерия максимального отклонения  $R_{max}$  (таблица 5) с его расчетным значением  $R_{расч}$ :

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S y_i}, \quad (4)$$

где  $|\Delta Y_{i\max}|$  – абсолютное значение максимального отклонения единичного результата измерения от среднего значения [4].

Таблица 2.3 – Значение критерия максимального отклонения  $R_{max}$

| Число повторений n | Уровень значимости q |      | Число повторений n | Уровень значимости q |      |
|--------------------|----------------------|------|--------------------|----------------------|------|
|                    | 0,05                 | 0,01 |                    | 0,05                 | 0,01 |
| 3                  | 1,41                 | 1,41 | 17                 | 2,55                 | 2,87 |
| 4                  | 1,69                 | 1,72 | 18                 | 2,58                 | 2,90 |
| 5                  | 1,87                 | 1,96 | 19                 | 2,60                 | 2,93 |
| 6                  | 2,00                 | 2,13 | 20                 | 2,62                 | 2,96 |
| 7                  | 2,09                 | 2,27 | 21                 | 2,64                 | 2,99 |
| 8                  | 2,17                 | 2,37 | 22                 | 2,66                 | 3,01 |
| 9                  | 2,24                 | 2,46 | 23                 | 2,68                 | 3,03 |

Продолжение таблицы 2.3

|    |      |      |    |      |      |
|----|------|------|----|------|------|
| 10 | 2,29 | 2,54 | 24 | 2,70 | 3,05 |
| 11 | 2,34 | 2,61 | 25 | 2,72 | 3,07 |
| 12 | 2,39 | 2,66 | 30 | 2,79 | 3,16 |
| 13 | 2,43 | 2,71 | 35 | 2,85 | 3,22 |
| 14 | 2,46 | 2,76 | 40 | 2,90 | 3,28 |
| 15 | 2,49 | 2,80 | 45 | 2,95 | 3,33 |
| 16 | 2,52 | 2,84 | 50 |      |      |

Если выполняется неравенство  $R_{расч} \geq R_{max}$ , то результат с максимальным отклонением от среднего значения должен исключаться из анализа. После этого оценка среднего значения должна быть пересмотрена и по необходимости проводится анализ наличия второй и т.д. грубой ошибки в серии оставшихся единичных результатах.

Вторым способом является сравнение табличного значения величины  $\alpha_m$  с расчетным значением  $\alpha_{расч}$ , (таблица 6) определяемым по формуле 5:

$$\alpha_{расч} = \frac{Y_n - Y_{(n-1)}}{Y_n - Y_{(1)}}, \quad (5)$$

если подозреваемый результат максимальный в серии повторов.

По формуле 6 если подозреваемый результат – минимальный.

$$\alpha_{расч} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_n - Y_{(1)}}, \quad (6)$$

Если выполняется неравенство  $\alpha_{расч} \geq \alpha_m$ , то подозреваемый результат является грубой ошибкой.

Таблица 2.4 – Значение критерия  $\alpha_m$  для определения грубых ошибок

| Число повторений $n$ | Уровень значимости $q$ |       |
|----------------------|------------------------|-------|
|                      | 0,05                   | 0,01  |
| 3                    | 0,941                  | 0,988 |
| 4                    | 0,765                  | 0,889 |
| 5                    | 0,642                  | 0,780 |
| 6                    | 0,560                  | 0,698 |
| 7                    | 0,507                  | 0,637 |
| 8                    | 0,468                  | 0,590 |
| 9                    | 0,437                  | 0,555 |
| 10                   | 0,412                  | 0,527 |
| 11                   | 0,392                  | 0,502 |
| 12                   | 0,376                  | 0,482 |
| 15                   | 0,338                  | 0,438 |
| 20                   | 0,300                  | 0,391 |
| 24                   | 0,281                  | 0,367 |
| 30                   | 0,260                  | 0,341 |

Среднеквадратичное отклонение

Сначала рассчитывается среднее арифметическое всех результатов по формуле:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i$$

Где  $\bar{Y}$  - среднее значение отклика,  $n$  – общее число опытов,  $\sum Y_i$  – сумма значений всех опытов.

Затем среднеквадратическое отклонение среднего результата:

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{Y} - Y_n)^2}{(n-1)}}$$

Где  $\bar{Y}$  - среднее значение отклика,  $Y_n$  – конкретное значение отклика.

### 3.3 Коэффициент вариации

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$V_p = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{y}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Если число единичных значений в партии составляло от двух до шести, значение  $S_m$  вычисляли по формуле:

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (7)$$

где  $W_m$  – размах единичных значений отклика в контролируемой партии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от числа единичных значений ( $n$ ).

Таблица 2.5

Значения коэффициента  $\alpha$

| Число единичных значений | n        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   |
|--------------------------|----------|------|------|------|------|-----|
| Значение коэффициента    | $\alpha$ | 1,13 | 1,69 | 2,06 | 2,33 | 2,5 |

#### Доверительный интервал

Приведенные ниже доверительные оценки истинного значения измеряемой случайной величины даны в предположении, что случайные ошибки измерения подчинены нормальному закону распределения и имеют симметричный вид, то есть (формула 8):

$$\bar{Y} - \varepsilon < Y < \bar{Y} + \varepsilon \quad (8)$$

Величина  $\varepsilon$  определяется по заданной доверительной вероятности (надежности оценки)  $P$ ; обычно надежность задается в виде одного из трех уровней: 0,95; 0,99 или 0,999. Для определения доверительного интервала единичного или среднего результатов используется критерий Стьюдента  $t_{(P,f)}$ :

$$\varepsilon_{(Y_i)} = t_{(P,f)} S_{(Y_i)}, \quad (9)$$

Критерий Стьюдента  $t_{(P,f)}$  выбирается из таблиц в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $f$  – параметра, связанного с числом измерений соотношением  $f = n - 1$ .

Таблица 8–Значение критерия Стьюдента  $t_{(p,f)}$

| Число степеней свободы $f$ | Уровень значимости $q$ |       | Число степеней свободы $f$ | Уровень значимости $q$ |      |
|----------------------------|------------------------|-------|----------------------------|------------------------|------|
|                            | 0,05                   | 0,01  |                            | 0,05                   | 0,01 |
| 1                          | 12,71                  | 63,66 | 11                         | 2,20                   | 3,11 |
| 2                          | 4,30                   | 9,93  | 12                         | 2,18                   | 3,06 |
| 3                          | 3,18                   | 5,84  | 13                         | 2,16                   | 3,01 |
| 4                          | 2,78                   | 4,60  | 14                         | 2,15                   | 2,98 |
| 5                          | 2,57                   | 4,03  | 30                         | 2,04                   | 2,75 |
| 6                          | 2,45                   | 3,71  | 40                         | 2,02                   | 2,70 |
| 7                          | 2,37                   | 3,50  | 60                         | 2,00                   | 2,66 |
| 8                          | 2,31                   | 3,36  | 120                        | 1,98                   | 2,62 |
| 9                          | 2,26                   | 3,25  | $\infty$                   | 1,96                   | 2,58 |
| 10                         | 2,23                   | 3,17  |                            |                        |      |



### 3. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Испытание исходного магнезиального вяжущего на неравномерность изменения объёма



Рис. 3.1 Образцы лепешки из исходного вяжущего при плотности затворителя 1,2 г/см<sup>3</sup>

Образцы лепешки в возрасте 3 сут. были помещены в воду на 1 сутки и после дальнейшего высыхания образцы лепешки изменили свою форму (выгнулись) а также получили сквозные трещины.

В ходе испытания было выявлено что вяжущее не отличается равномерностью изменения объёма, в следствии чего можно сказать что это повлияло на водостойкость магнезиального камня.

#### 3.2 Магнезиальное вяжущее модифицированное серпентином

На основе проведенного литературного обзора, для определения влияния количества серпентина на свойства магнезиального вяжущего был спланирован и реализован эксперимент, варьируемый фактор: массовое отношение серпентин : ПМК-75. Отклики: предел прочности при сжатии в 1 и 7 сутки, коэффициент водостойкости.

Для проведения эксперимента изготавливали образцы балочки 4x4x16 см из теста магниального вяжущего ПМК-75 с добавкой серпентина и обоженого-серпентина, с добавлением затворителя плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> (раствора MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) в количестве, необходимом для обеспечения нормальной густоты.

### 3.2.1 Математическая обработка результатов испытаний

Результаты испытания на изгиб при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 0 : 100 в возрасте 1 сут.

Таблица 3.1 – результаты испытания на изгиб и сжатие при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 0 : 100 в возрасте 1 сут.

| №исп.                  | 1    |      | 2    |      | 3    |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| R <sub>изг</sub> , МПа | 5,25 |      | 5,21 |      | 5,67 |      |
| R <sub>сж</sub> , МПа  | 51,2 | 51,7 | 52,3 | 51,8 | 51,3 | 52,4 |

Для 3-х результатов прочности на изгиб среднее значение:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i = \frac{5,25 + 5,21 + 5,67}{3} = 5,34$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (\bar{Y} - Y_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,19}{2}} = 0,308$$

По таблице 5 для 3-х значений R<sub>max</sub>=1,41

Для значения 5,25:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|5,34 - 5,25|}{0,308} = 0,292$$

Так как 0,292 < 1,41, то результат 2,5 грубой ошибкой не является.

Для значения 5,21:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|5,34 - 5,21|}{0,308} = 0,422$$

Так как 0,422 < 1,41, то результат 2,5 грубой ошибкой не является.

Для значения 5,67:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|5,34-5,67|}{0,308} = 1,071$$

Так как  $1,071 < 1,41$ , то результат 2,5 грубой ошибкой не является.

Грубых ошибок в результатах испытания нет

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = \frac{W_m}{a} = \frac{5,67 - 5,21}{1,69} = 0,27$$

Доверительный интервал

Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 2$  и принятых уровнях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0,95,2)} = 4,3;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{Y})} = 4,3 * 0,308 = 1,32$$

Таким образом, прочность на изгиб с надежностью 95% находится в интервале 4,02..6,66

Для 6 результатов прочности на сжатие (51,2; 51,7; 52,3; 51,8; 51,3; 52,4) среднее значение:

$$\bar{Y} = \frac{(51,2+51,7+52,3+51,8+51,3+52,4)}{6} = 51,8$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = \sqrt{\frac{1,23}{5}} = 0,495$$

По таблице 5 для 6 значений  $R_{\max} = 2,0$ .

Для значения 51,2:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8-51,2|}{0,495} = 1,21$$

Так как  $1,21 < 2,0$ , то результат 3 грубой ошибкой не является.

Для значения 51,7:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8-51,7|}{0,495} = 0,2$$

Так как  $0,2 < 2,0$ , то результат 51,7 грубой ошибкой не является.

Для значения 52,3:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 52,3|}{0,495} = 0,118$$

Так как  $0,118 < 2,0$ , то результат 51,8 грубой ошибкой не является.

Для значения 51,82:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 51,82|}{0,495} = 0,04$$

Так как  $0,04 < 2,0$ , то результат 2,4 грубой ошибкой не является.

Для значения 51,3:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 51,3|}{0,495} = 1,01$$

Так как  $1,01 < 2,29$ , то результат 51,3 грубой ошибкой не является.

Для значения 52,4:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 52,4|}{0,495} = 1,239$$

Грубых ошибок в результатах испытания нет

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = \frac{W_m}{a} = \frac{52,4 - 51,2}{2,5} = 0,48$$

Доверительный интервал

Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 5$  и принятых уровнях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0,95,5)} = 2,57;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{Y})} = 2,57 * 0,495 = 1,27$$

Таким образом, прочность на сжатие с надежностью 95% находится в интервале 50,53..53,07

Результаты испытания на изгиб при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 30 : 70 в возрасте 1 сут.

Таблица 3.2 – результаты испытания на изгиб и сжатие при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 0 : 100 в возрасте 1 сут.

| №исп.                  | 1    |       | 2    |      | 3    |      |
|------------------------|------|-------|------|------|------|------|
| R <sub>изг</sub> , МПа | 6,91 |       | 6,79 |      | 7,1  |      |
| R <sub>сж</sub> , МПа  | 26,8 | 27,61 | 26,3 | 27,2 | 28,9 | 29,2 |

Для 3-х результатов прочности на изгиб среднее значение:

$$\bar{Y} = \frac{(6,9+6,6+7,1)}{3} = 6,87$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = \sqrt{\frac{1,23}{2}} = 0,251$$

По таблице 5 для 3-х значений R<sub>max</sub>=1,41

Для значения 6,91:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|6,87-6,9|}{0,251} = 0,118$$

Так как 0,118 < 1,41 , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 6,79:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|6,87-6,6|}{0,251} = 0,2$$

Так как 0,52 < 1,41, то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 7,1:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|6,87-7,1|}{0,251} = 0,918$$

Так как 0,918 < 1,41, то результат грубой ошибкой не является.

Грубых ошибок в результатах испытания нет.

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = \frac{W_m}{a} = \frac{7,1 - 6,6}{1,69} = 0,29$$

Доверительный интервал

Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 2$  и принятых уровнях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0,95,2)}=4,3;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{Y})}=4,3*0,251 = 1,08$$

Таким образом, прочность на изгиб с надежностью 95% находится в интервале 5,79..7,95

Для 6 результатов прочности на сжатие (26,8; 27,6; 26,3; 27,2; 28,9; 29,2) среднее значение:

$$\bar{Y} = 27,6$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = 0,835$$

По таблице 5 для 6 значений  $R_{\max}=2,0$ .

Для значения 26,8:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 1,5$$

Так как  $1,5 < 2,0$ , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 27,61:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 0,05$$

Так как  $0,05 < 2,0$ , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 26,3:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 1,72$$

Так как  $1,98 < 2,0$ , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 27,2:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S y_i} = 0,82$$

Так как  $0,82 < 2,0$ , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 28,9:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S y_i} = 1,88$$

Так как  $1,01 < 2,0$ , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 29,3:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S y_i} = 1,97$$

Так как  $1,97 < 2,0$ , то результат грубой ошибкой не является.

Грубых ошибок в результатах испытания нет

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = 0,45$$

Доверительный интервал

Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 5$  и принятых уровнях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0,95,5)} = 2,57;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{Y})} = 2,57 * 0,835 = 1,75$$

Таким образом, прочность на сжатие с надежностью 95% находится в интервале 26,4..29,25

Результаты испытания на изгиб при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 50 : 50 в возрасте 1 сут.

Таблица 3.3 – результаты испытания на изгиб и сжатие при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 50 : 50 в возрасте 1 сут.

| №исп.                  | 1    |       | 2    |      | 3    |      |
|------------------------|------|-------|------|------|------|------|
| R <sub>изг</sub> , МПа | 5,33 |       | 5,52 |      | 5,11 |      |
| R <sub>сж</sub> , МПа  | 26,8 | 27,61 | 26,3 | 27,2 | 28,9 | 29,2 |

Для 3-х результатов прочности на изгиб среднее значение:

$$\bar{Y}=5,32$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = 0,205$$

По таблице 5 для 3-х значений R<sub>max</sub>=1,41

Для значения 5,33:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 0,05$$

Так как 0,05 < 1,41 , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 5,52:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 0,97$$

Так как 0,97 < 1,41, то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 5,11:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 1,025$$

Так как 1,025 < 1,41, то результат грубой ошибкой не является.

Грубых ошибок в результатах испытания нет.

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = 0,24$$

Доверительный интервал



Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 2$  и принятых уровнях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0.95,2)}=4,3;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon(\bar{Y})=4,3*0,205 = 0,88$$

Таким образом, прочность на изгиб с надежностью 95% находится в интервале 4,52..6,12

Результаты испытания на изгиб при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 30 : 70 в возрасте 1 сут.

Таблица 3.4 – результаты испытания на изгиб и сжатие при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным 70 : 30 возрасте 1 сут.

| №исп.                  | 1    |       | 2    |      | 3    |      |
|------------------------|------|-------|------|------|------|------|
| R <sub>изг</sub> , МПа | 4,33 |       | 4,25 |      | 4,11 |      |
| R <sub>сж</sub> , МПа  | 26,8 | 27,61 | 26,3 | 27,2 | 28,9 | 29,2 |

Для 3-х результатов прочности на изгиб среднее значение:

$$\bar{Y}=4,23$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = 0,105$$

По таблице 5 для 3-х значений R<sub>max</sub>=1,41

Для значения 4,33:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 0,91$$

Так как 0,91 < 1,41 , то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 4,25:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = 0,22$$

Так как 0,22 < 1,41, то результат грубой ошибкой не является.

Для значения 4,11:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i_{max}}|}{S_{y_i}} = 1,125$$

Так как  $1,125 < 1,41$ , то результат грубой ошибкой не является.

Грубых ошибок в результатах испытания нет.

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = 0,22$$

Доверительный интервал

Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 2$  и принятых уровнях значимости  $0,05$  составляет:

$$t_{(0,95,2)} = 4,3;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{Y})} = 4,3 * 0,105 = 0,4515$$

Таким образом, прочность на изгиб с надежностью  $95\%$  находится в интервале  $4,05..4,62$

Результаты испытания на изгиб при массовом отношении серпентин : ПМК-75 равным  $0 : 100$  в возрасте  $7$  сут.

Таблица 3.5 – результаты испытания на изгиб и сжатие при массовом отношении обожжённый серпентин : ПМК-75 равным  $0 : 100$  в возрасте  $7$  сут.

| №исп.                  | 1    |      | 2    |      | 3    |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| R <sub>изг</sub> , МПа | 6,25 |      | 6,21 |      | 6,67 |      |
| R <sub>сж</sub> , МПа  | 71,2 | 51,7 | 72,3 | 71,8 | 71,3 | 72,4 |

Для 3-х результатов прочности на изгиб среднее значение:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i = \frac{5,25 + 5,21 + 5,67}{3} = 5,34$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (\bar{Y} - Y_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,19}{2}} = 0,308$$

По таблице 5 для 3-х значений  $R_{max} = 1,41$

Для значения  $5,25$ :

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i_{max}}|}{S_{y_i}} = \frac{|5,34-5,25|}{0,308} = 0,292$$

Так как  $0,292 < 1,41$ , то результат 2,5 грубой ошибкой не является.

Для значения 5,21:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i_{max}}|}{S_{y_i}} = \frac{|5,34-5,21|}{0,308} = 0,422$$

Так как  $0,422 < 1,41$ , то результат 2,5 грубой ошибкой не является.

Для значения 5,67:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i_{max}}|}{S_{y_i}} = \frac{|5,34-5,67|}{0,308} = 1,071$$

Так как  $1,071 < 1,41$ , то результат 2,5 грубой ошибкой не является.

Грубых ошибок в результатах испытания нет

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = \frac{W_m}{a} = \frac{5,67 - 5,21}{1,69} = 0,27$$

Доверительный интервал

Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 2$  и принятых уровнях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0,95,2)} = 4,3;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{Y})} = 4,3 * 0,308 = 1,32$$

Таким образом, прочность на изгиб с надежностью 95% находится в интервале 4,02..6,66

Для 6 результатов прочности на сжатие среднее значение:

$$\bar{Y} = 71,8$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата:

$$S_y = \sqrt{\frac{1,23}{5}} = 0,495$$

По таблице 5 для 6 значений  $R_{max} = 2,0$ .

Для значения 71,2:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}}$$

Так как  $1,21 < 2,0$ , то результат 3 грубой ошибкой не является.

Для значения 71,7:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 51,7|}{0,495} = 0,2$$

Так как  $0,2 < 2,0$ , то результат 51,7 грубой ошибкой не является.

Для значения 72,3:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 52,3|}{0,495} = 0,118$$

Так как  $0,118 < 2,0$ , то результат 51,8 грубой ошибкой не является.

Для значения 71,82:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 51,82|}{0,495} = 0,04$$

Так как  $0,04 < 2,0$ , то результат 2,4 грубой ошибкой не является.

Для значения 71,3:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 51,3|}{0,495} = 1,01$$

Так как  $1,01 < 2,29$ , то результат 51,3 грубой ошибкой не является.

Для значения 72,4:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i\max}|}{S_{y_i}} = \frac{|51,8 - 52,4|}{0,495} = 1,239$$

Грубых ошибок в результатах испытания нет

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле 6

$$S_m = \frac{W_m}{a} = \frac{52,4 - 51,2}{2,5} = 0,48$$

Доверительный интервал

Величина критерия Стьюдента при степени свободы  $f = 5$  и принятых уровнях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0.95,5)}=2,57;$$

Доверительная ошибка среднего значения составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{Y})}=2,57*0,495 = 1,27$$

Таким образом, прочность на сжатие с надежностью 95% находится в интервале 50,53..53,07

### 3.2.2 Обработанные результаты испытаний

Таблица 3.7 – результаты испытаний образцов с необожжённым серпентином.

| Отношение серпентин : ПМК-75, масс. | 1 сутки                |                       | 7 суток                |                       | 7 суток (с 6 на 7 сутки в воде) |                       |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
|                                     | R <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>сж</sub> , МПа | R <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>сж</sub> , МПа | R <sub>изг</sub> , МПа          | R <sub>сж</sub> , МПа |
| 0 : 100                             | 5,2                    | 51,5                  | 6,34                   | 71,2                  | 1,2                             | 30,8                  |
| 30 : 70                             | 6,9                    | 26,8                  | 6,6                    | 64,2                  | 1,4                             | 32,7                  |
| 50 : 50                             | 5,3                    | 24,3                  | 10,3                   | 58,2                  | 2,2                             | 38,4                  |
| 70 : 30                             | 4,2                    | 7,8                   | 7,5..8,7               | 26,0                  | 3,0                             | 19,0                  |

Таблица 3.8 – водостойкость полученных образцов с необожжённым серпентином.

| Отношение серпентин : ПМК-75, масс. | Коэффициент водостойкости |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 0 : 100                             | 0,43                      |
| 30 : 70                             | 0,51                      |
| 50 : 50                             | 0,66                      |
| 70 : 30                             | 0,73                      |

Таблица 3.9 – результаты испытаний образцов с обожжённым серпентином.

| Отношение об. серпентин : ПМК-75, мас. | 1 сутки                |                       | 7 суток                |                       | 7 суток (с 6 на 7 сутки в воде) |                       |
|--|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
|  | R <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>сж</sub> , МПа | R <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>сж</sub> , МПа | R <sub>изг</sub> , МПа          | R <sub>сж</sub> , МПа |
| 0 : 100                                | 5,21                   | 51,7                  | 6,34                   | 71,8                  | 1,89                            | 30,8                  |
| 30 : 70                                | 6,28                   | 38,1                  | 9,46                   | 62,2                  | 7,08                            | 46,0                  |
| 50 : 50                                | 5,92                   | 21,9                  | 9,8                    | 52,4                  | 4,06                            | 37,2                  |
| 70 : 30                                | 5,4                    | 9,1                   | 4,76                   | 25,2                  | 2,87                            | 18,6                  |

Таблица 3.10 – водостойкость полученных образцов с обожжённым серпентином.

| Отношение об. серпентин : ПМК-75, масс. | Коэффициент водостойкости |
|---|---------------------------|
| 0 : 100                                 | 0,43                      |
| 30 : 70                                 | 0,74                      |
| 50 : 50                                 | 0,71                      |
| 70 : 30                                 | 0,74                      |

### 3.3 Выводы по результатам испытаний

1. С повышением содержания серпентина в вяжущей системе падает прочность.
2. Водостойкость образцов с необожжённым серпентином растет вместе с повышением содержания серпентина.
3. Водостойкость образцов с обожженным серпентином увеличилась по сравнению с исходным вяжущим, но не менялось при повышении содержания.
4. Самым оптимальным по водостойкости является массовое соотношение 70 : 30 как с обожжённым так и с необожжённым серпентином

5. Необожжённый серпентин замедляет набор прочности в ранние сроки, но уже к 7-ым суткам набор прочности ускоряется.

6. На водостойкость сильно повлияла неравномерность изменения объёма исходного вяжущего, т.к. образцы полностью из ПМК-75 не набрали обычных 0.65.

7. Серпентин смог компенсировать влияние неравномерности изменения объёма исходного вяжущего на образцы

### 3.4 Дериватографическое исследование

#### 3.4.1 Сравнительный анализ

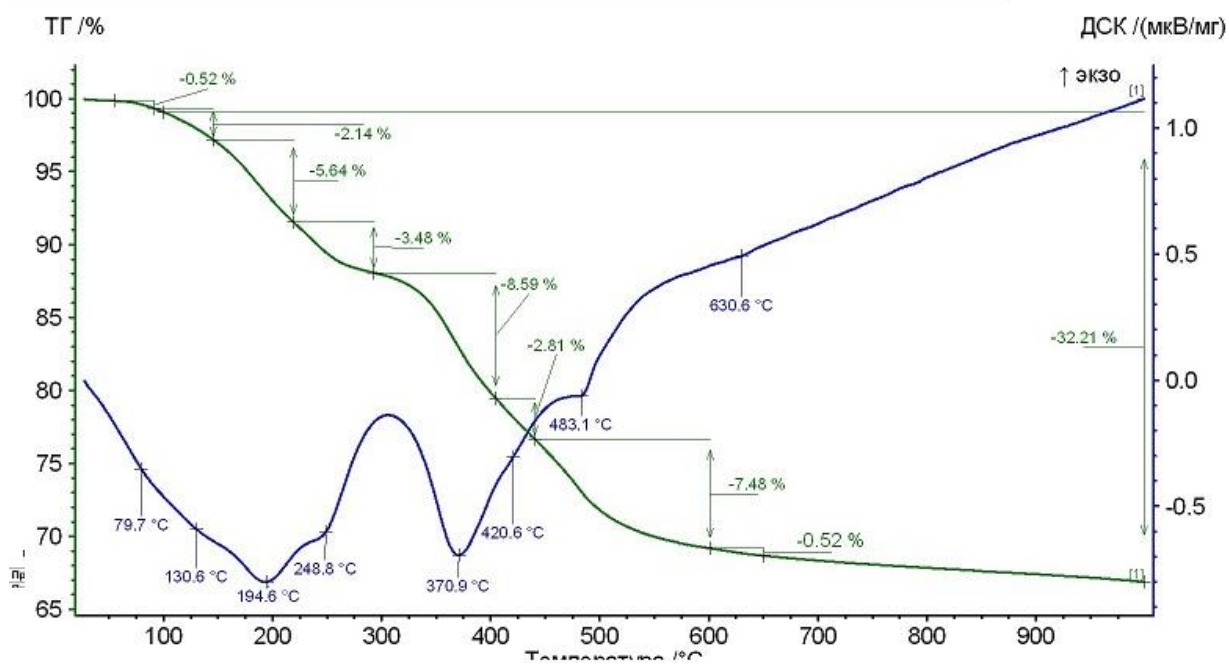


Рис.3.2 Дериватограмма исходного вяжущего (0 : 100)

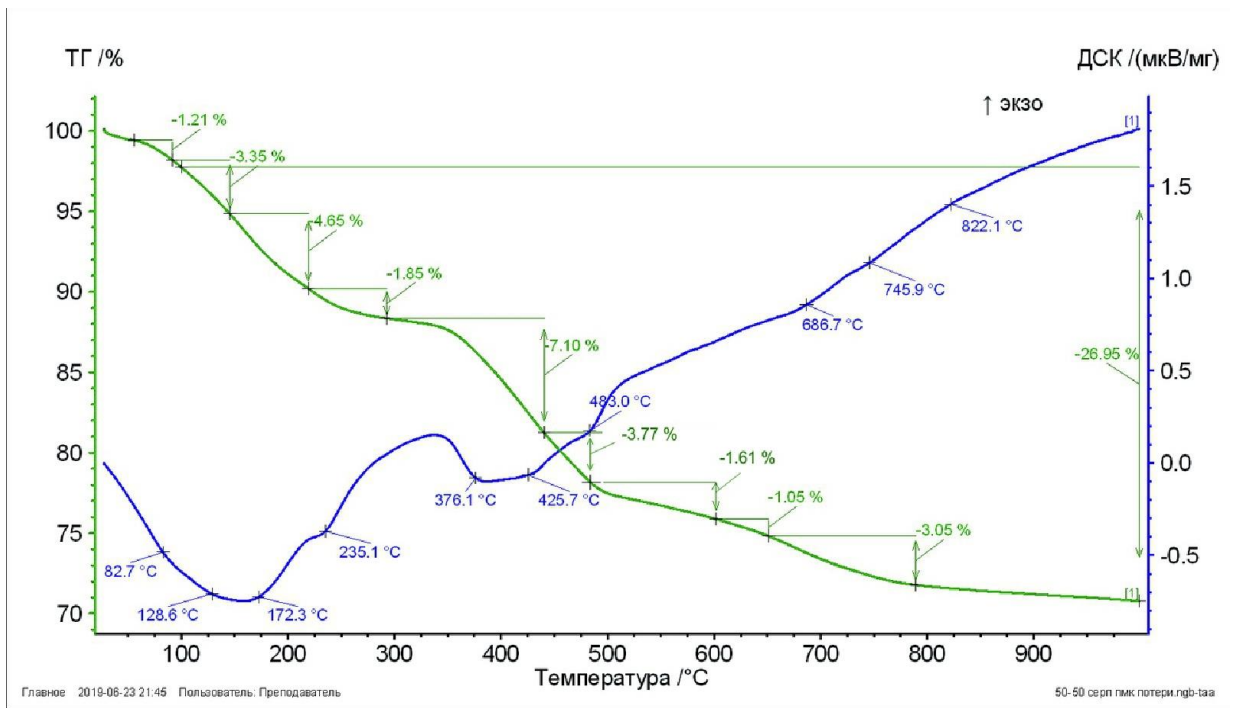


Рис.3.2 Дериватограмма композиционного вяжущего с массовым отношением 50 : 50 (серпентин : ПМК-75)

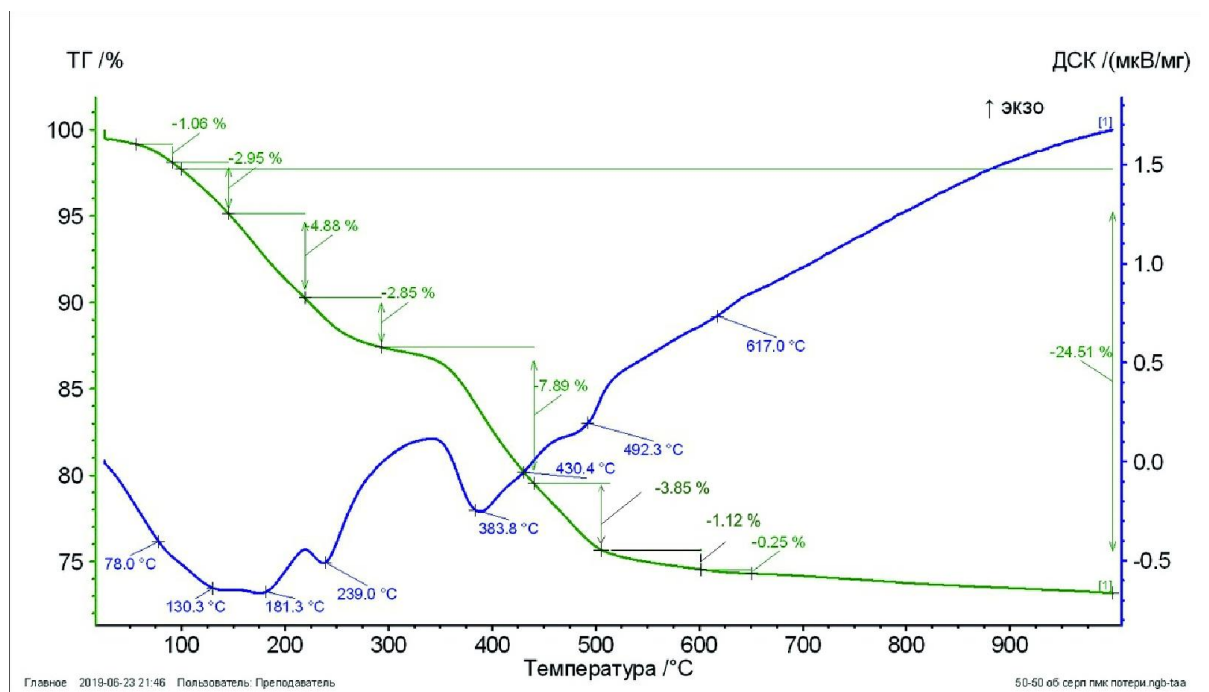


Рис.3.2 Дериватограмма композиционного вяжущего с массовым отношением 50 : 50 (обоженный серпентин : ПМК-75)

Таблица 7 - Минеральный состав магнезиального камня на 7 сут. твердения



| Компоненты                    | Массовое соотношение | % от общей массы камня |  |  |                            |   |
|-------------------------------|----------------------|------------------------|--|--|----------------------------|---|
|                               |                      | Mg(OH) <sub>2</sub>    | 5MgO·MgCl <sub>2</sub> ·13H <sub>2</sub> O | 3MgO·MgCl <sub>2</sub> ·11H <sub>2</sub> O | Сумма продуктов гидратации | 3MgO·2SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O |
| Серпентин : ПМК-75            | 0 : 100              | 9,05                   | 49,27                                      | 12,84                                      | 71,16                      | -   |
| Серпентин : ПМК-75            | 50 : 50              | 12,4                   | 40,68                                      | 6,6  | 59,68                      | 23,46                                     |
| Обожжённый серпентин : ПМК-75 | 50 : 50              | 12,14                  | 44,21                                      | 10,51                                      | 66,86                      | -   |

В результате проведенного дериватографического исследования выявлено, что на 7 сутки твердения не обнаружено появление новых фаз, слагающих магнезиальный камень:

1. Для всех образцов изготовленных на композиционном вяжущем наблюдается увеличение гидроксида магния.

2. Для всех образцов изготовленных на композиционном вяжущем наблюдается незначительное уменьшение суммы продуктов гидратации. Однако, если учесть, что часть вяжущего заменена серпентином, то степень гидратации вяжущего увеличивается, что свидетельствует о положительном эффекте от введения добавки. Для всех образцов изготовленных на композиционном вяжущем наблюдается незначительное снижение пентаоксигидрохлорида магния.

3. Для образцов, изготовленных с добавкой необожженного серпентина наблюдается уменьшение количества пентаоксигидрохлорида и триоксигидрохлорида магния. Необожженный серпентин, практически, не оказывает влияния на процесс гидратации вяжущего, разбавляя его

#### 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Серпентиновая горная порода, применяющаяся для производства композиционных вяжущих, доставляется место производства с помощью автосамосвалов, после приемки порода отправляется в промежуточный бункер с помощью ленточного конвейера. Для предварительной обработки порода по ленточному питателю перемещается в мельничную дробилку. После дробления идет просев с помощью грохота. Недостаточно измельченная порода должна быть повторно измельчена, для этого ее отделяют в промежуточный бункер. Измельченная порода далее попадает в валковые мельницы для конечного измельчения до удельной поверхности  $6000 - 7000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Для удаления из воздуха пылевидной фракции сырья используется пылеосадительное оборудование. Из мельницы и пылеосадительного оборудования по ленточному питателю измельченный серпентинит попадает в силосы, а из силосов с помощью ленточного питателя серпентин подается в промежуточный бункер с дозатором. ПМК-75 доставляется автосамосвалом и по ленточному питателю передается в бункер промежуточного хранения с дозатором. Из бункеров с дозаторами сырье в определенной пропорции попадает в шнековый смеситель закрытого типа, где происходит смешение молотого серпентинита и ПМК-75. После этого готовое композиционное вяжущее подается на линию упаковки, затем паллеты с готовой продукцией отправляются краном на склад готовой продукции.

## 5 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

На территории Уральского Федерального округа существует большое количество отвалов, в которых накоплены отходы асбеста в результате промышленной переработки серпентиновых и асбестовых руд. Они могут оказывать вредное воздействие на окружающую среду и на здоровье человека. Часть этих отходов имеет вторичное применение, но большинство остается в отвалах. И в настоящее время эти отходы насчитывают сотни миллионов тонн, с каждым годом только увеличиваясь.

Одним из путей решения этих вопросов является применение вяжущего на основе серпентина.

Серпентин, в качестве вяжущего, является полезным сырьем с экологической точки зрения. Так как на сегодняшний день стоит острая проблема утилизации всех накопившихся многотонных отходов добычи полезных ископаемых.

Использование вяжущего на основе этих материалов позволяет утилизировать накопившиеся в отвалах серпентины, а также существенно снизить нагрузку на окружающую среду в районах размещения этих отходов и изготовить водостойкие листы, обеспечивая современные требования по высокой энергоэффективности.

## 6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В таблице 6.1 приведены цены на использованные в данной работе материалы и приведен расчет себестоимости производства на 1 единицу готового продукта.

Таблица 6.1 – Расчет затрат на сырьевые материалы для производства композиционного вяжущего

| Наименование материала | Количество, кг<br>готовой продукции | Цена, руб/кг | Стоимость, руб |
|------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------|
| Серпентин              | 12,5                                | 0,4          | 5              |
| ПМК-75                 | 12,5                                | 20,5         | 256,25         |
| ИТОГО                  | 25                                  | 20,9         | 261,25         |

## 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

7.1 Описание рассматриваемого проекта, процессов, применяемого оборудования, механизмов, условий труда

Дипломная работа посвящена разработке комплексной добавки для производства композиционных вяжущих.

Композиционные магнезиальные вяжущие – вяжущие с использованием минеральных магниевых-силикатных добавок.

Композиционные магнезиальные вяжущие будут применяться при производстве стекло-магнезиальных листов.

Применение СМЛ:

- монтаж стен, перегородок, арок;
- монтаж подвесных потолков;
- отделка откосов;
- устройство полов;
- в качестве несъёмной опалубки под лёгкие бетоны;
- отделка фасадов (с нанесением дополнительных отделочных материалов).

Научная работа выполнялась на кафедре «Строительные материалы» ЮУрГУ – в цехе и одной из лабораторий, расположенных в корпусе.

При изготовлении и испытании СМЛ в лабораторных условиях задействовано следующее оборудование: сушильный шкаф, электрическая мешалка, гидравлический пресс, вибростол, виброистиратель.

## 7.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» при изготовлении стекломagneзиальных листов в лабораторных условиях опасными и вредными факторами является:

- подвижные части производственного оборудования;

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов, оборудования;
- тепловое излучение;
- химические вещества;
- психофизиологические (физические и нервно-психические перегрузки)

### 7.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды

#### 7.3.1 Микроклимат

Микроклимат оказывает большое воздействие на самочувствие и здоровье рабочих, а также на эффективность их работы, основными параметрами микроклимата, влияющими на это, являются:

- Температура;
- Относительная влажность воздуха;
- Подвижность воздуха;

В условиях лаборатории основной источник выделения тепла – сушильный шкаф.

Действующим нормативным документом, регламентирующим микроклимат производственной среды, является ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-

гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Этим документом установлены оптимальные и допустимые величины температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения.

При данном производстве выполняемые работы относятся к легкой 1Б категории.

Таблица 7.1 – Оптимальные нормы температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

| Период года | Категория работ | Температура, °С |            | Относительная влажность, % |                      | Скорость движения воздуха, м/с |              |
|-------------|-----------------|-----------------|------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------|
|             |                 | оптимальная     | допустимая | оптимальная                | допустимая, не более | оптимальная, не более          | допустимая   |
| холодный    | Легкие 1Б       | 21-23           | 17-25      | 40-60                      | 75                   | 0,1                            | Не более 0,2 |
| теплый      | Легкие 1Б       | 22-24           | 19-30      | 40-60                      | 60 (при 27 °С)       | 0,2                            | 0,1-0,3      |

Мероприятия для создания удовлетворительного микроклимата.

Для создания необходимого микроклимата, располагающего к эффективной работе, а также для поддержания состояния здоровья рабочих оборудуют места отопления и приточно-вытяжную вентиляцию вблизи рабочих мест. Они создают необходимый микроклимат и контролируются СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

### 7.3.2 Освещение

Освещенность должна обеспечивать оптимальные условия для работы органов зрения, что благоприятно влияет на производительность труда.

Важно правильно организовать освещение, для обеспечения хорошей видимости и создания благоприятных условий труда.

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», к вредным факторам освещения относят такие явления как: недостаток естественного света, слабая освещенность рабочего места, высокая пульсация потока света.

Эти факторы воздействуют на людей следующим образом:

- Приводят к утомлению
- Притуплению внимания
- Снижению производительности
- Увеличивают риски травм
- При длительном воздействии могут ухудшить зрение

Для обеспечения оптимальных условий освещенности используют комбинированное освещение. Осветительные приборы не должны приносить вред и быть безопасными при эксплуатации.

В условиях работы в лаборатории ВУЗ-а должны соблюдаться условия освещенности приведенные в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Нормируемые показатели естественного и искусственного освещения в лабораториях высших учебных заведений

| Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г-горизонтальная) и высота плоскости над полом, м | Естественное освещение                    |                       | Искусственное освещение |                                     |   |
|--|---|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|
|  | КЕО е, % н                                |                       | освещенность, Е, лк     | показатель дискомфорта, М, не более | коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более |
|  | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении |                         |                                     |   |
| Г-0,8  | 3,5                                       | 1,2                   | 400                     | 40                                  | 10  |

Нормирование производственного освещения ведется по СП52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23-05-95).



В лаборатории предусмотрено искусственное и естественное освещение.

Естественное обеспечивается широкими боковыми оконными проемами, а искусственное с помощью мощных качественных люминисцентных блочных ламп в количестве 16 штук.

Согласно Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» нормированное значение коэффициента естественной освещенности  $\geq 0,5 \%$ .

### 7.3.3 Вибрация

Виброплощадки, дробилки и мельницы, используемые в лаборатории, создают вибрацию, передающуюся на рабочее место и оказывающую вредное воздействие на человека.

Вибрации могут вызывать головокружение и снижение чувствительности конечностей, а также вступать в резонанс с внутренними органами человека пагубно влияя на них.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует СН – 2.2. 4/2.1.8. 556 – 96 «Производственные вибрации».

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории III – технологического типа «в» согласно СН – 2.2. 4/2.1.8. 556 - 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории III – технологического типа «в»

| Среднегеометрические частоты полос | Нормативные значения в направлениях |        |        |        |                      |        |        |        |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|----------------------|--------|--------|--------|
|                                    | виброускорения                      |        |        |        | виброскорости        |        |        |        |
|                                    | м/с <sup>2</sup>                    |        | дБ     |        | м/с 10 <sup>-2</sup> |        | дБ     |        |
|                                    | 1/3окт                              | 1/1окт | 1\3окт | 1/1окт | 1/3окт               | 1/1окт | 1/3окт | 1/1окт |
| 1,6                                | 0,0130                              |        | 82     |        | 0,130                |        | 88     |        |
| 2,0                                | 0,0110                              | 0,020  | 81     | 86     | 0,089                | 0,180  | 85     | 91     |

Продолжение таблицы 5.3

|      |        |       |    |    |       |       |    |    |
|------|--------|-------|----|----|-------|-------|----|----|
| 2,5  | 0,0100 |       | 80 |    | 0,063 |       | 82 |    |
| 3,15 | 0,0089 |       | 79 |    | 0,045 |       | 79 |    |
| 4,0  | 0,0079 | 0,014 | 78 | 83 | 0,032 | 0,063 | 76 | 82 |
| 5,0  | 0,0079 |       | 78 |    | 0,025 |       | 74 |    |
| 6,3  | 0,0079 |       | 78 |    | 0,020 |       | 72 |    |
| 8,0  | 0,0079 | 0,014 | 78 | 83 | 0,016 | 0,032 | 70 | 76 |
| 10,0 | 0,0100 |       | 80 |    | 0,016 |       | 70 |    |
| 12,5 | 0,0130 |       | 82 |    | 0,016 |       | 70 |    |
| 16,0 | 0,0160 | 0,028 | 84 | 89 | 0,016 | 0,028 | 70 | 75 |
| 20,0 | 0,0200 |       | 86 |    | 0,016 |       | 70 |    |

В лаборатории выполняются следующие условия: к эксплуатации допускаются только исправные машины; рабочие, к работе с вибрирующими машинами допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр.

#### 7.3.4 Шум

Шум возникающий при работе оборудования вызван движением его элементов с переменным ускорением, ударением деталей, а также трением.

Шум пагубно действует на человека, действие шума в течении длительного времени приводит к повышению артериального давления, а также ослаблению слуха и внимания человека.

Шум нормируется ограничением звуковой энергии, а также длительностью воздействия, ограничивая их значениями безопасными для человека.

Шум нормируется от состава и времени воздействия, по биологической опасности, требования приводятся в ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ " Шум. Общие требования безопасности ", СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в жилых помещениях общественных зданий».

Таблица 5.4 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах (дБА)

| Категория напряженности трудового процесса | Категория тяжести трудового процесса |                             |                        |                        |                        |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|  | легкая физическая нагрузка           | средняя физическая нагрузка | тяжелый труд 1 степени | тяжелый труд 2 степени | тяжелый труд 3 степени |
| Напряженность легкой степени               | 80                                   | 80                          | 75                     | 75                     | 75                     |
| Напряженность средней степени              | 70                                   | 70                          | 65                     | 65                     | 65                     |
| Напряженный труд 1 степени                 | 60                                   | 60                          | -                      | -                      | -                      |
| Напряженный труд 2 степени                 | 50                                   | 50                          | -                      | -                      | -                      |

Таблица 5.5 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука по виду выполняемых работ.

| Рабочие места   | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |    |    |     |     |      |      |      |      | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ |
|---|--|----|----|-----|-----|------|------|------|------|---|
|   | 1,5  | 3  | 25 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |   |
| Выполнение всех видов работ на рабочих местах в производственных помещениях | 107  | 95 | 87 | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   | 80  |

Для снижения шума от оборудования используют смазочные и прокладочные материалы, звукопоглощающие облицовки, перегородки и кожухи.

В качестве индивидуальных средств защиты используют наушники и вкладыши (если уровень звука составляет 20-40 Дб).

#### 7.4 Запыленность и загазованность рабочей зоны

Минеральная пыль образующаяся при производстве вяжущих веществ оказывает пагубное влияние на человеческой организм, и является аэрозолем фиброгенного действия. Нормируется по предельное допустимой концентрации (ПДК).

Для предотвращения пагубного воздействия пыли на человека должна присутствовать естественная вентиляция и влажная уборка помещений.

Бишофит не токсичен, пожаро- и взрывобезопасен по ГОСТ 7759-73 «Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия». По степени воздействия на организм человека раствор бишофита относится к 3-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности». Раствор бишофита не образует токсичных соединений в воздушной среде. Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны производственных помещений 5 мг/м<sup>3</sup> по хлористому магнию.

Работники должны строго соблюдать меры личной гигиены такие как мытье рук, ношение рабочей одежды и средств индивидуальной защиты органов дыхания, прием пищи только в специальных помещениях.

#### 7.5 Безопасность производственных процессов оборудования

Безопасность при работе с лабораторным оборудованием

При проведении лабораторных исследований использовалось следующее оборудование: пресс гидравлический, вибростол, виброистиратель, сушильный шкаф.

Для безопасной работы с виброистирателем необходимо соблюдать следующие правила:

- Части виброистирателя необходимо заземлить по ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».

- при проведении профилактических осмотров и ремонтов электропусковое устройство виброистирателя должно быть выключено и на нем повешена табличка с надписью «Не включать, на ремонте»;

- при обнаружении неисправностей в виброистирателе не начинать или прекратить работу;

- рабочее место должно быть достаточно освещено;

Категорически запрещается:

- производить ремонт, регулировку или разборку виброистирателя без отключения от электросети;

- лицам не имеющим на то право, устранять неполадки в работе электродвигателей;

- оставлять виброистиратель без надзора во время работы.

Чтобы безопасно работать с гидравлическим прессом необходимо соблюдать правила:

- конструкция гидравлических прессов должна отвечать требованиям ГОСТ 12.2.017-93 "Оборудование кузнечно-прессовое" и ГОСТ 12.2.117-88 "Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические".

- все детали пресса, находящиеся под давлением, необходимо подвергать постоянному осмотру, периодическим освидетельствованиям и испытаниям согласно ПБ 10-573-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» и ПБ 03-576-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденным Ростехнадзором.

- подвижная траверса пресса должна скользить по направляющим с минимальным зазором, не допуская перекоса.

– подвижная траверса не должна доходить до верхнего положения на 30 - 400 мм, для чего пресс должен быть оборудован конечным выключателем. На колоннах должны быть установлены специальные ограничители (или конечные выключатели) хода вниз.

– прессы должны быть снабжены устройством, предотвращающим самопроизвольное опускание подвижной траверсы.

– прессы должны быть снабжены устройствами для удержания подвижной траверсы в верхнем положении при выполнении ремонтных и наладочных работ.

#### 7.6 Электробезопасность

При проведении работ используется оборудование напряжением до 380 В. (Гидравлический пресс, машина для испытаний на изгиб, виброистиратель, сушильный шкаф).

Оборудование должно регулярно проверяться на наличие неисправностей, к работе с оборудованием должен допускаться только обученный персонал расписавшийся в журнале по технике безопасности.

Не допускается обнажение изоляции токопроводящих проводов.

Должны быть установлены качественные автоматы выключатели.

Электробезопасность в лаборатории обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Защита человека от поражения током обеспечивается выполнением следующих правил:

– все электроустановки согласно ГОСТ 12.1.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» заземлены медными проводами сечением не менее 12 (мм<sup>2</sup>). Заземлитель и заземленный провод присоединен при помощи хомута из меди или латуни, на участке зачищенном от краски;

– согласно ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования» должна быть обеспечена недоступность токоведущих частей электроустановок и приборов;

– контроль изоляции и профилактика ее повреждения.

### 7.7 Пожаробезопасность

Причинами для пожара в условиях работы в лабораторном цеху могут быть неисправности электрооборудования, а также его конструктивные недостатки и несоблюдение мер безопасности.

Источниками же пожара в лабораторном цеху могут также являться электрооборудование и пожароопасные материалы.

Для обеспечения пожарной безопасности должны проводиться специальные мероприятия а также иметься в наличии огнетушители в прямой доступности работников. В здании лабораторного корпуса, где проводились исследования, предусмотрены эвакуационные пути, наружные пожарные лестницы, аварийные люки, имеющие устойчивость при пожаре и огнестойкость конструкций достаточную для эвакуации людей и для тушения пожара.

При использовании в работе электрооборудования существует пожарная опасность из-за высоких температур и возможности искр при неисправностях.

При работе с электрооборудованием работники должны быть проинструктированы по правилам соблюдения пожарной безопасности таких как:

- Обязательная уборка в конце рабочего дня;
- Средства пожаротушения должны быть исправны, и размещены по правилам;
- Наличие специальных мест для курения, и обязанности курить только там;
- Ежедневный контроль пожароопасных нарушений и проверка электрооборудования.

Помещение по пожароопасности относится к категории Д.

Для обеспечения пожарной безопасности в лаборатории в прямой доступности сотрудников находятся огнетушители пенные, углекислотные, щит с ручными средствами тушения, пожарный кран.

Общие требования к пожарной безопасности соответствуют ГОСТ 12.4.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования».

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности, согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» являются:

1. пламя и искры;
2. повышенная температура окружающей среды;
3. токсичные продукты горения и термического разложения;
4. дым;
5. пониженная концентрация кислорода.

К vorичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующим на людей и материальные ценности, относятся:

1. осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;
2. электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов;

## 7.8 Охрана окружающей среды

СМЛ является экологически чистым материалом. Не содержит в своем составе вредных веществ, таких как асбест, фенолы, адгезивы, смолы и т. д. Не имеет запаха и не выделяет вредных для здоровья и жизнедеятельности людей и живых организмов веществ. При изготовлении материала используются экологически безопасные компоненты (магнезиальное вяжущее, перлит, тальк, древесные опилки). Антисептическое свойство СМЛ, составляющих магнезитовую плиту, предотвращает появление плесени и грибковых заболеваний.

В состав СМЛ входят следующие компоненты:

- магнезиальное вяжущее ПМК-75;



- раствор бишофита;
- серпентин.

Возможную опасность для окружающей среды может представлять лишь излишнее содержания хлорида магния (бишофита), именно излишки хлора могут отрицательно воздействовать на экологию.

При использовании бишофита в строительных растворах и смесях вместе с ним добавляются очень полезные свойства. Он является экологичным, гигиеничным, биостойким, беспыльным, атмосферостойким и огнестойким материалом.

Так как при производстве СМЛ бишофит используется в достаточно малых количествах, то он не окажет существенного отрицательного воздействия на окружающую среду. Установлено, что при 15 % концентрации и ниже активность бишофита не превышает уровень водопроводной воды. В нашем случае, даже при максимальном использовании бишофита, его концентрация не превысит 7 %.

Производство СМЛ можно назвать безотходным.

Безотходное производство – производство, при котором происходит комплексная переработка первичного сырья в нескольких стадиях, что в конечном итоге приводит к полному использованию всех компонентов сырья, в крайнем случае, получении небольшого количества совершенно безвредных отходов.

После раскроя готовых листов СМЛ двумя кромкообрезными пилами, готовые листы укладываются штабелями и транспортируются на склад готовой продукции. А обрезные остатки (отход) поступают на вибросито, после чего добавляются в смесь для производства СМЛ.

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ:

1. Выявлено, что в настоящее время на территории Уральского Федерального округа и других областей накопилось большое количество отходов добычи асбеста, которые небезопасны для жизни населения и вредны для окружающей среды, требуют утилизации. Баженовское месторождение является самым крупным и богатым по количеству отходов, накопившихся за долгое время существования. Основной состав отвалов месторождения представлен серпентином – минералом с химической формулой  $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

2. Установлено, что при использовании серпентинов в составе композиционного вяжущего позволяет получить прочный водостойкий искусственный камень.

3. С повышением содержания серпентина в вяжущей системе падает прочность.

4. Водостойкость образцов с необожжённым серпентином растёт вместе с повышением содержания серпентина.

5. Водостойкость образцов с обожжённым серпентином увеличилась по сравнению с исходным вяжущим, но не менялось при повышении содержания.

6. Самым оптимальным по прочности и водостойкости является массовое соотношение 50 : 50 как с обожжённым так и с необожжённым серпентином

7. Необожжённый серпентин замедляет набор прочности в ранние сроки, но уже к 7-ым суткам набор прочности ускоряется.

8. На водостойкость сильно повлияла неравномерность изменения объёма исходного вяжущего, т.к. образцы полностью из ПМК-75 не набрали обычных 0.65.

9. Серпентин смог компенсировать влияние неравномерности изменения объёма исходного вяжущего на образцы

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 50475 (СССР). Способ изготовления половых, облицовочных и кровельных плиток / Л.Я. Клейнзингер, Е.С. Красуский. – М.; В.Б.И., 1937.
2. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 18 с.
3. ГОСТ 10141-91. Мельницы стержневые и шаровые. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 15 с.
4. ГОСТ 10832-2009. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 19 с.
5. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением №1). – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 2 с.
6. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с изменением №1). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 97 с.
7. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная опасность. Общие требования (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1991. – 23с.
8. ГОСТ 12.1.005-88 (1999, с изм. №1 2000). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 17 с.
9. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2008 год. – 28 с.
10. ГОСТ 1216-87. Порошки магниезиальные каустические. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 10 с.
11. ГОСТ 12.2.017-93. Оборудование кузнечнопрессовое. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 6с.
12. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1987. – 4с.

13. ГОСТ 12.1.030-81 (2001). ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление (с Изменениями №1). – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
14. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1982. – 5с.
15. ГОСТ 12.2.007-88. ССБТ. Оборудование электротехническое. Требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 19 с.
16. ГОСТ 12.2.117-88. ССБТ. Прессы гидравлические. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 4с.
17. ГОСТ 12.2007.9-93. Безопасность электротермического оборудования. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 15 с.
18. ГОСТ 12.3002-75 (1990). ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности. –М.: Изд-во стандартов, 1991. – 57 с.
19. ГОСТ 12.3.009-76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности (с Изменением N 1). – М.: Издательство стандартов, 2008. – 6с.
20. ГОСТ 23789–1979 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2004.
21. ГОСТ 12.4.013-97. ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 18с.
22. ГОСТ 12.4.041-2001. ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общин технические требования. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 7с.
23. ГОСТ 25485–1989 Бетоны ячеистые. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2006.
24. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 3 с.
25. ГОСТ 6552-80. Кислота ортофосфорная. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

26. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме

27. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 65 с.

28. СН № 2.2.4/2.1.8.556-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1996. – 25 с.

29. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Пункт 7.3. – М.: Госстрой России, 2001. – 28 с.

30. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.

31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 15 с.

32. Р 2.2.2006-05. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Минздрава РФ, 2005. – 78 с.

33. СНиП 23-05-95\* (СП52.13330.20011). Естественное и искусственное освещение (с изменением №1). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003 г. – 58 с.

34. Пат. 3552984 (США). – Оpubл. 05.01.71

35. Пат. 9572 (Германия) / И. Гарниш. – Оpubл. 1926.

36. ТУ 5744-001-60779432-2009. Магнезиальное вяжущее строительного назначения. Технические условия. – Нижний Тагил: ООО «Тагильский огнеупорный завод», 2009. – 7 с.

37. Ferraris Chiara F., Obla Karthik H., Hill Russell. The influence of mineral admixture on the rheology of cement paste and concrete. // Cem. and Concr. Res.: An International Jomal. - 2001. - 31, № 2. - С.245-255.

38. Griesser A., Jacobs F., Hunkeler F. Rheologische Optimierungen von Beton. //Ibausil: 14 Internationale Baustofftagung, Weimax, 20.-23. Sept. 2000.Bd.2 Weimar: Bauhaus-Univ. Weimar. 2000, S. 2/0197-2/0206/

39. Hall D.A., Stevens R., El-Jazairi B. The effect of retarders on the microstructure and mechanical properties of magnesia–phosphate cement mortar // Cement and Concrete Research. – 2001 year. vol. 31, is. 3. P 455–465
40. Haselbarth G., Abdul Aziz Jamel. Einfluß der Ausgangstoffe auf das Fließverhalten von Frischmortel und Frischbeton. //Thesis: Wiss.Z.Bauhaus- Univ. Weimar. - 1998. - 44, № 1-2. - С.134-139.
41. Hollinderbaumer E.W., Zysk.K.-H., Aberle B. Zur rheologie von Zementmörteln. //Zement - Kalk - Gips int. - 2000. - 53, № 2. - S. 114-120.
42. Homung Dietmar. Rheologisch und hydraulisch optimierte Bindemittel. //Betonwerk + Fertigneil - Techn. - 2001. - 67, № 8. - S. 52-58/
43. Karol B. – Sprechsaal Keram., Glas, Email Silikate, 1971, N. 7, S. 275.
44. Saada R., Ben Jamaa, Mensi R. Caracterization du comportement rheologique des pastes fraiches de ciment.V/Cim., betons, platres,chaux. - 2001. - № 850. - С. 245-248.
45. Абзгильдин, Ф.Ю. Асбо-фосфатные материалы: монография / Ф.Ю. Абзгильдин, С.Г. Тресвятский. – Киев: Изд-во Наукова думка, 1980. – 99 с.
46. Асбест // Военная энциклопедия : [в 18 т.] / под ред. В. Ф. Новицкого [и др.]. — СПб. ; [М.] : Тип. т-ва И. Д. Сытина, 1911—1915.
47. Афанасьева Ю.С. Некоторые свойства ячеистых бетонов // Инновационная наука. 2015. №11-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-svoystva-yacheistyh-betonov> (дата обращения: 26.05.2018).
48. Ахманицкий Г.Я., Лapidус М.А., Туркина И.А. Мелкие стеновые блоки из неавтоклавного газозолобетона. //Строительные материалы. - 1991.- 7.- С.14-15.
49. Базилевич А.С., Симин И.Ф. использование асбестовых отходов в грубой керамике.– Тр. ВНИИ огнеупор. и кислотоупорных материалов, 1936, ч. 2, с. 3–16.
50. Белов М.А., Дебин Н.В., КоносовЮ.Б. Практика обогащения асбестовых руд. – М. : Недра, 1975, с.112–116.

51. Бережной А.С. Использование силикатов магния для получения огнеупоров. – Журн. Прикл. Химии, 1940, 13, № 6, с.800–822.

52. Боженков П.И., Сальникова В.С. О вяжущих свойствах некоторых природных минералов. – В кн.: Науч. труды по химии и технологии силикатов. М.: Промстройиздат, 1956, с. 24.

53. Будников П.П. К вопросу об использовании силикатов магния. – Журн. Прикл. Химии, 1940, 13, № 6, с. 797–799.

54. Васильевская Н.Г. Газозобетон неавтоклавного твердения на основе композиции белитоалюминатного цемента с золой сжигания бурых углей. Автореф. дисс. канд. техн. наук. - Томск, 2000. - 28 с.

55. Величко Е.Г., Зубенко В.М., Белякова Ж.С., Анищенко Л.В. Неавтоклавный ячеистый шлакощелочной бетон. // Строительные материалы. - 1995. - № 4. - С. 17-19.

56. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / А.Я. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

57. Волженский А.В., Чистов Ю.Д., Карпова Т.А., Исхакова А.А. Технология и свойства изделий из неавтоклавного газобетона с нормативными влажностью и теплопроводностью. // Строительные материалы. - 1990. - № 11.- С.7-8.

58. Волоревич Н.П. О применении методов реологии в пищевой промышленности. - В кн.: Коллоиды в пищевой промышленности. - М.: Пищепромиздат, 1949. - С.40-45.

59. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А., Калашников А.В. Новая технология ячеистобетонных изделий. // Строительные материалы. - 1999. - № 7-8. - С.26-27.

60. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. - М.: Высшая школа, 1989. С.

61. Гранковский И.Г. Реологические исследования процессов формирования структуры камня: Автореф. дис. канд.техн.наук. - Киев, 1966. - 17 с.

62. Гранковский И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах. - Киев: Наукова Думка, 1984. - 300 с.

63. Дворкин Л.И., Мироненко А.В., Шамбан И.Б. Бесцементный неавтоклавный газобетон. //Строительные материалы. - 1990. - № 11. - С.11-13.

64. Диамант М.И., Ксенофонов Н.И., Федьнин Н.И., Иванов И.А. Стендовое производство стеновых панелей из безавтоклавного газозолобетона. // Бетон и железобетон. - 1965. - № 2. - С.13-14.

65. Долотова Раиса Григорьевна, Верещагин Владимир Иванович, Смирнская Вера Николаевна Процессы фазообразования и формирования пористой структуры газобетона на основе портландцемента с использованием полевошпатово-кварцевого песка и волокон асбеста // Известия ТПУ. 2011. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protsessy-fazoobrazovaniya-i-formirovaniya-poristoy-struktury-gazobetona-na-osnove-portlandtsementa-s-ispolzovaniem-polevoshpatovo> (дата обращения: 26.05.2018).

КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/protsessy-fazoobrazovaniya-i-formirovaniya-poristoy-struktury-gazobetona-na-osnove-portlandtsementa-s-ispolzovaniem-polevoshpatovo>

66. Дубинин И.С., Урьев Н.Б. Реологические характеристики пластифицированных цементных растворов. // Известия ВНИИгидротехн. - 1996.- 231. -С.565-569.

67. Жуков Алексей Дмитриевич, Чугунков Александр Викторович, Гудков Павел Кириллович Геометрическая модель ячеистого бетона и прогнозирование его свойств // Строительство: наука и образование. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geometricheskaya-model-yacheistogo-betona-i-prognozirovanie-ego-svoystv> (дата обращения: 26.05.2018).

КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/geometricheskaya-model-yacheistogo-betona-i-prognozirovanie-ego-svoystv>

68. Иванов И.А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. - М.: Стройиздат. - 1986. - 200 с.



69. Иктисанов В. А. Использование биномиального реологического уравнения при описании -различных реостабильных неньютоновских систем. //Коллоидный журнал. - 1999. - т.61, № 3. - С. 326-330.

70. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. - Киев: «Вища школа», 1977. - 136 с.

71. Мамыкин П.С., Сырейщиков Ю.Д. Производство форстеритовых изделий из асбестовых отходов.–Огнеупоры,1959, № 12, с. 529–538.

72. Мощанский Н.А. Строительные материалы сегодняшнего и завтрашнего дня.–М. : Знание, 1956. 24 с.

73. Медведева И.Н., Крылов О. С., Сычѐв М. М., Касьянова Г. Н., З. П. Ким. Сб. трудов ЛТИ им. Ленсовета, Л., 1975, с. 29-38.

74. Медведева И.Н., Крылов О. С., Сычѐв М. М., Каланходжаева М.. Сб. трудов ЛТИ им. Ленсовета, Л., 1975, с. 39-46.

75. Медведева И.Н., Крылов О. С., Васильев Л. Н., Сычѐв М. М. органические, материалы, т. X, No7,1979, с. 1273-1275.

76. Мчедлов-Петросян О.П., Воробьев Ю.Л. Проблемы использования серпентинитов в народном хозяйстве СССР. – В кн.: Научные работы по химии и технологии силикатов. М.: Промстройиздат, 1957, с.113–120.

77. Мчедлов-Петросян О.П., Воробьев Ю.Л. Использовать серпентинит для получения цемента. – Строит. Материалы, 1957, №1, с. 31.

78. Нурбатуров К. А. Эффективный способ поризации силикатных систем для производства теплоизоляционных жаростойких материалов / К. А. Нурбатуров, А.А. Родионова, В.А. Югай, А.В. Кан // Известия научно-технического общества «КАХАК» – 2007, № 1(16). – С. 102

79. Пинскер В.А. Состояние и проблемы производства и применения ячеистых бетонов // Ячеистые бетоны в современном строительстве : сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 2004.

80. Прокофьева, В.В. Строительные материалы на основе силикатов магния / В.В. Прокофьева, З.В. Багаутдинов. – Санкт-Петербург: Стройиздат СПб, 2000. – 200с.

81. Рахимбаев Ш.М., Матвиенко О.И. Реологическая модель цементного теста и других нелинейных вязко-пластических тел. // Международная конференция «Промышленность стройматериалов и стройиндустрия, энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений» (14 начн. чтения), Белгород, [1997]: Сборник докладов. 4.5. - Белгород, 1997. - С.168-172, 366,397.

82. Рейнер М. Реология. - М.: Наука, 1965. - 223 с.

83. Серпентенит в защите ядерных реакторов/ Под ред. Ю.А. Егорова. – М.: Атомиздат, 1973. с. 34–51 с.

84. Славина А. М. Обжиговые строительные материалы на техногенном сырье с улучшенными теплозащитными свойствами // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2009. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzhigovye-stroitelnye-materialy-na-tehnogennom-syrie-s-uluchshennymi-teplozaschitnymi-svoystvami> (дата обращения: 26.05.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzhigovye-stroitelnye-materialy-na-tehnogennom-syrie-s-uluchshennymi-teplozaschitnymi-svoystvami>

85. Смелкова А.В., Ракицкая З.Н. Исследование вяжущих свойств асбестового цемента при автоклавном твердении в условиях высоких температур и давления. – В кн.: Боженова, Л.: Стройиздат, 1976, с. 63–68.

86. Смоликов А.А., Шахова Л.Д., Загороднюк Л.Х., Коновалов В.М., Афанасьева А.В., Маринина Е.В., Середенко М.Н. Влияние а-олефинсульфонатов на реологические характеристики пеноцементных смесей. // Международная конференция «Промышленность стройматериалов и стройиндустрия, энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений» (14 начн. чтения), Белгород, [1997]: Сборник докладов. 4.5. - Белгород, 1997. - С.137-140, 214, 229.

87. Соколова С.В. Влияние структурно-энергетических характеристик гидрооксидов металлов на их химическое связывание с ортофосфорной кислотой с целью получения фосфатных связующих для жаростойких бетонов / С.В. Соколова // Огнеупоры и техническая керамика. – 2004. – № 9. – С. 29–31.

88. Стрелов К.К. К вопросу получения форстеритовых огнеупоров из отходов асбеста и сырого магнезита: Автореф. Дис. ... канд. техн. наук. – Свердловск, 1951,–9с.

89. Судакас, Л.Г. Фосфатные вяжущие системы / Л.Г. Судакас / Спб.: РИА "Квинтет", 2008. – 260 с.

90. Сурков В. Н. Развитие ячеистых бетонов в индустрии строительных материалов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2009. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-yacheistyh-betonov-v-industrii-stroitelnyh-materialov> (дата обращения: 26.05.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-yacheistyh-betonov-v-industrii-stroitelnyh-materialov>

91. Терентьев А.Е. Уравнение состояния упруговязкой тиксотропной среды с учетом динамических воздействий. //VI всесоюзный симпозиум 182 «Реология бетонных смесей и ее технологические задачи», г. Рига, 5-7 декабря 1989г.: Тезисы докладов. - Рига: Рижский политехнический институт, 1989. - С.67-69.

92. Урьев Н.Б. Динамика структурированных дисперсных систем. //Коллоидный журнал. - 1998. - т.60, № 5. - С. 662-683.

93. Урьев Н.Б., Чой С.В. О двух типах течения структурированных дисперсных систем. //Коллоидный журнал. - 1993. - т.52, № 3. - С. 183- 191.

94. Устьянцев В.М., Третникова М. Г., Хорошавин Л. Б., Щетникова И. Л. Огнеупоры, No2,1973, с. 53-55.

95. Федынин Н.И. Технология неатоклавногo ячеистого золобетона повышенной прочности и долговечности. // Строительные материалы. 1990, № 11.-С.8-11.

96. Федынин Н.И., Манжелевская Н.В., Лазарев С.В. Особолегкий ячеистый золобетон с добавками полимеров. // Строительные материалы. 1987, № 2.-С.14-16.

97. Федьнин Н.И., Меркулова С.И. Получение быстротвердеющего неавтоклавного ячеистого золобетона пониженной объемной массы. // Строительные материалы. 1979, № 1. - С. 16-18.

98. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. - М.: «Химия», 1982. - 400 с.

99. Худякова, Л.И. Перспективы использования магнийсиликатных горных пород в производстве строительных материалов / Л.И. Худякова, О.В. Войлошников, Б.Л. Нархинова // Строительные материалы. – 2006. – № 12. – С. 44–45.

100. Чемоданов Д.И., Круглицкий Н.Н., Саркисов Ю.С. Физико-химическая механика оксидных систем. - Томск: Изд-во Томского университета, 1989.-230 с.

101. Чернова Е. А. К вопросу о применении фосфатных связующих в композициях с карбонатсодержащими отходами промышленности. / Е. А. Чернова // XVII Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии» – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011 год. – 480 с.

102. Чечулин, Алексей Иванович (1943-1995).Асбест [Текст] / А. И. Чечулин. - 2-е издание. - Свердловск : Средне-Уральское книжное издательство, 1989. - 221 [16] с. : вкл. л., фото. - (Города нашего края). - Библиография : с. 217-220. - ISBN 5-7529-0168-5 Хроника : с. 214-216

103. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907

104. Юнг В.Н. Об искусственных конгломератах в цементах. – В кн.: Сборник работ, посвященных Д. С. Белянкину. – М.: Изд-во АН СССР, 1946, с.114.