

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

ВКР ПРОВЕРЕНА	ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Рецензент	Заведующий кафедрой
/ /	/А.А. Орлов/
« » 2019 г.	« » 2019 г.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе
08.03.01.2019.00.00.ПЗ
Исследование влияния различных факторов на деформации магнезиального
камня.

Руководитель ВКР

/ А.А. Орлов /
« » 2019 г.

Автор ВКР
Студент группы АС –

/ А.Д. Путилов /
« » 2019 г.

Нормоконтролёр

/А.А. Кирсанова/
« » 2019 г.

Челябинск
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	7
1.1 Актуальность темы исследования.....	7
1.2 Магнезиальные вяжущие – общие сведения.....	9
1.3 Деформации магнезиального камня	18
1.4 Стекломагнезиальный лист и требования к сырью.....	21
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ	25
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	26
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	27
2.1 Физико-механические методы испытаний.....	27
2.2 Физико-химические методы испытаний	27
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	35
3.1 Исследование влияния плотности и количества затворителя на свойства магнезиального вяжущего.....	35
3.1 Исследование влияния плотности и количества затворителя на фазовый состав магнезиального камня.....	43
ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ.....	50
4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА	51
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	53
6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	71
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 экологичных материалов с высокими физико-механическими свойствами. К ним можно отнести материалы на основе оксида магния, магниезиальные вяжущие, имеющие высокую прочность в ранние сроки твердения в естественных условиях, что делает их более энергоэффективными по сравнению с цементными материалами за счет отказа от тепло-влажностной обработки, а так же по сравнению с гипсовыми, за счёт более низкой плотности.

Кроме того, магниезиальные материалы обладают антисептическими свойствами, не искрят, не пылят, стойки к истиранию, обладают низкой теплопроводностью, что способствует их эффективному применению при внутренней отделке помещений и устройства полов [3,4,5,6,7]. Одним из перспективных направлений строительного материаловедения является разработка комплектных систем дополняющих друг друга материалов, позволяющих решать конкретные строительные задачи в сжатые сроки с минимальными затратами. Поэтому разработка системы для внутренней отделки из стекломagneзиального листа и шпаклевкой на основе магниезиальных вяжущих представляется актуальной научно-технической задачей.

Однако одним из сдерживающих факторов использования СМЛ и магниезиальных вяжущих в целом является особенность процесса твердения, который сопровождается объёмными деформациями. Причины этих деформации изучены недостаточно. Наиболее вероятно, что они связаны в основном с фазовым составом исходного вяжущего, особенностями гидратации и видом формирующих камень гидратов [1].

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Актуальность темы исследования

Анализ научно-технической информации последних лет свидетельствует о возрастающем интересе к магнезиальным материалам. Магнезиальные вяжущие – вещества, активной составляющей которых является оксид магния. Для обеспечения интенсивного твердения и высокой прочности магнезиальные вяжущие затворяют растворами солей.

Наибольшее распространение получил магнезиальный цемент – каустический магнезит, затворенный раствором MgO. Отказ от ТВО снижает себестоимость магнезиальных вяжущих почти вдвое по сравнению с портландцементом. Так же, вяжущие на основе оксида магния по прочности превосходят портландцемент, как на сжатие, так и на изгиб.

Несмотря на потребность строительства в магнезиальном вяжущем, наличие месторождений магнезиального сырья, в Казахстане и России нет промышленного производства, позволяющего прямым обжигом природного магнезита получать качественный активный каустический магнезит целевого назначения. Сырьем для производства оксида магния является уловленная пыль, образующаяся при производстве спеченного периклазового порошка – магнезиальный каустический (ПМК-75). Строительные материалы и изделия, получаемые на ПМК -75, склонны в процессе эксплуатации к непрогнозируемому разрушению вследствие неравномерности изменения объема [2].

Основными причинами, сдерживающими широкое распространение магнезиальных вяжущих являются: ограниченность разработанных месторождений природных магнезитов, небольшие масштабы применения доломитового сырья, низкая водостойкость и усадочные деформации при твердении. Потеря прочности при длительном увлажнении обусловлена растворимостью большинства компонентов затвердевшего камня, включающего гидроксид и гидрооксихлориды магния, остаточный оксид магния [2].

Необходимость в малоэнергоемких быстротвердеющих материалах вызвала новый интерес к магнезиальным вяжущим в 1990 – 2000 годы. Основные усилия направлены на преодоления препятствий массового применения магнезиальных вяжущих. Подготовлены к разработке новые месторождения магнезита. Дефицит природных магнезитов компенсируют использованием более распространенного доломитового сырья, природного брусита, техногенных магнезиальных материалов. Накоплены значительные объемы различных многотоннажных отходов производства с высоким содержанием MgO. Однако техногенное сырье недостаточно изучено и пока мало используются при получении магнезиальных вяжущих веществ. Предпринимаются многочисленные попытки повысить водостойкость магнезиального цемента путем введения различных добавок. В состав вяжущего вводят гидрофобизирующие компоненты, защищающие поверхность затвердевших частиц водонепроницаемой пленкой. Известные виды добавок обеспечивают различный эффект, однако в большинстве своем дорогостоящие и дефицитны.

Для отделочных работ принято считать наиболее популярными гипсоволокнистые и гипсокартонные листы (ГВЛ и ГКЛ). Они легки в монтаже, распространены повсеместно, давно занимают уверенные позиции на рынке строительной индустрии. Однако существуют и другие материалы, позволяющие производить работы аналогичного характера, одним из них является стекломагнезиальный лист.

В отличие от гипса, СМЛ обладает более высокими физико-техническими характеристиками, такими как предел прочности на изгиб, твердость, а так же более высокая огнестойкость. Это делает данный материал перспективным для использования.

Главная причина, по которой стекломагниевый лист не используется повсеместно – отсутствие стабильного качества. СМЛ изготавливают множество российских предприятий, на китайском индустриальном пространстве их значительно больше. На листах, как правило, отсутствует какая-либо маркировка, из-за чего не представляется возможным однозначно определить источник продукции и основные свойства: плотность, состав, стойкость к повышенной влажности.

Российские поставщики используют собственную классификацию и периодически меняют отпускные нормы на своё усмотрение в соответствии с собственными ТУ. Связано это с тем, что около 90 % российских СМЛ производятся исключительно для внутреннего использования, поэтому столкнуться с применением таких листов в ремонтной практике – большая редкость. По качеству СМЛ отечественного производства несколько лучше зарубежных: в основном это связано с тем, что внутренние предприятия не производят плиты для устройства промежуточных неотчетливых слоёв и упаковки. Практически все листы выдерживают испытания на огнестойкость и вымачивание, в отличие от СМЛ зарубежного производства. Существует мнение, что такая тенденция отчасти связана с длительными сроками доставки из-за рубежа, а также сопутствующими нарушениями правил хранения и транспортировки.

В связи с нестабильностью сырья даже армирующая часть не всегда способна предотвратить сильные деформации листа. Поэтому был сделан вывод о необходимости проведения исследований с целью выявления зависимости объемных и линейных деформаций от фазового состава магнезиального камня.

1.2 Магнезиальные вяжущие – общие сведения

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 магниевых 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 агрессивных 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.

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 магний оксихлоридов являются:

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

Гидроксид и оксихлорид магния образуются преимущественно в виде коллоидных частиц на стадии гидролиза соли $MgCl_2$ путем непрерывного связывания воды затворителя в оксигруппы гидроксида магния и в оксигруппы оксихлорида магния до момента затвердевания системы. Кристаллизация же коллоидных частиц происходит практически мгновенно.

Специальных нормативов на магнезиальное вяжущее в России не существует. Требования к ПМК-75, вошедшие в ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия» сильно упрощены. Это не позволяет полностью оценить рентабельность использования данного вяжущего в строительной индустрии. Связанна данная проблема с тем, что ГОСТ 1216-87 был разработан для огнеупорной продукции, где ПМК-75 является по существу отходом производства, который необходимо реализовать. Необходимо понимать, что нужно для управления свойствами магнезиального камня на ПМК-75, как могут те или иные технические характеристики вяжущего повлиять на долговечность и основные свойства магнезиального камня. Это возможно только после тщательного анализа технических характеристик ПМК-75 и выявления их влияния на свойства, формирующегося магнезиального камня. Принятые в стандарте нормы для химического состава не раскрывают фазовый состав подробно, а лишь раскрывают «вредную» и «полезную» часть вяжущего. Показатель количества MgO , контролирующей общее аналитическое содержание оксида магния, можно считать положительным, так как он является основным компонентом вяжущего. Он включает оставшийся $MgCO_3$, образовавшийся при хранении $Mg(OH)_2$, а также оксид магния, как активный, так и пережжённый [30].

Степень закристаллизованное MgO оценивают по размерам кристаллов, образовавшегося при обжиге оксида магния [8].

Если $MgCO_3$ и $Mg(OH)_2$ практически не снижают качества вяжущего, то присутствие в большом количестве слабозакристаллизованного, т.е. высокоактивного оксида магния не желательно, так как он ускорит сроки схватывания вяжущего. Пережог способствует также появлению трещин, но в более поздний период твердения магнезиального камня. Следовательно, качественным можно считать вяжущее состоящее из MgO средней активности, при этом $MgCO_3$ в нем будет отсутствовать. Такое вяжущее рекомендуют применять в строительстве А.П. Ваганов, Д.С. Белянкин и др., подтверждается это и нашими исследованиями. Из сказанного следует, что кроме общего содержания оксида магния в вяжущем, необходимо контролировать присутствие высокоактивной составляющей периклаза и пережог [30].

Содержащийся в вяжущем $MgCO_3$, не будучи вредной примесью, указывает на недостаточный обжиг и присутствие слабообожженной, слишком активной магнезии. Следовательно, в эту часть ГОСТа необходимо ввести ограничения на присутствие в вяжущем $MgCO_3$, т.е. снизить до минимума потери при прокаливании (ППП). В зарубежных нормативах допустимое количество PPP не должно превышать 8 %, в то время как ГОСТ 1216 допускает PPP до 18 % [30].

Оксид кальция (CaO) в магнезиальном вяжущем может присутствовать в виде: CaO разной степени закристаллизованности, $Ca(OH)_2$ и $CaCO_3$. Наиболее опасной и вредной является примесь высокообожженной, пережженной извести (CaO), она может вызвать растрескивание и коробление магнезиального камня вследствие увеличения при гидратации объема в 2,0 – 2,5 раза. $Ca(OH)_2$ и $CaCO_3$ являются скорее индифферентными примесями.

В. Тупер, Л. Карц, Т. Деменик и В.Файкнехт доказали, что стабильными продуктами твердения магнезиального вяжущего при низких концентрациях затворителя до $1,20 \text{ г/см}^3$ представляют собой смесь $Mg(OH)_2$ и $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$. При использовании более концентрированного затворителя магнезиальный камень формируется предпочтительно из $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ и

$3\text{MgO}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$, а при очень низких концентрациях MgCl_2 в нем преобладает фаза $\text{Mg}(\text{OH})_2$ [31,32,33].

Стоит отметить, что возможно получение магнезиального камня не только на основе раствора бишофита, но и MgSO_4 , FeSO_4 , а также на основе воды, без добавления солей. Однако такие магнезиальные камни плохо изучены и обладают более низкими прочностными характеристиками.

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 недоразложившихся 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 активными катионами, например Li^+ , Na^+ , K^+ 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.

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 путём, нет необходимости в проведении тепловой обработки, что дает преимущество в энергоэффективности по сравнению с аналогами.

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;

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

Изучение особенностей структуры магнезиального камня позволило понять, что при оптимальных соотношениях оксида магния к хлориду магния, камень в основном формируется из тонкодисперсных игольчатого или призматического вида кристаллов, срастающихся в плотное образование с низкой пористостью закрытого типа. Такая структура создает материал высокой прочности и непроницаемости по отношению к газам и воде.

Однако, пентаоксигидрохлорид магния под действием атмосферного CO₂ способен медленно карбонизировать и переходить в Mg(OH)₂•MgCl₂•2MgCO₃•6H₂O. 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 $Mg(OH)_2$ и гидромагнезит ($4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 4H_2O$). 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].

Магнезиальное вяжущее должно характеризоваться определенным набором свойств, которые позволяют обеспечить высокое качество строительных материалов и изделий из этого материала.

Многолетними исследованиями, проводимыми на кафедре «Строительные материалы» ЮУрГУ установлено, что основными свойствами, определяющими качество магнезиальных вяжущих веществ, являются: химический состав, насыпная плотность в виброуплотненном состоянии, тонкость помола, нормальная густота, сроки схватывания – начало и конец, равномерность изменения объема и 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 магнезиального вяжущего должен соответствовать нормам, указанным 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 ₂)	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

Количество «пережога» более 5 % приводит к разрушению твердеющего магнезиального камня. Содержание свободной извести (CaO), привносимой присутствующими в сырье примесями CaCO₃ и доломитом, не должно превышать 6 %, так как она снижает качество магнезиального вяжущего, переводя CaO в растворимый CaCl₂ и снижая прочность формирующегося камня и стойкость к воздействию воды. Кремнезем в вяжущем вероятнее всего будет находиться в инертном состоянии в виде кварца или форстерита, высокое его содержание может снизить прочность вяжущего за счет разбавления активной части, поэтому его содержание также ограничивается до 20 %. Ограничение потерь при прокаливании (ППП) связано с полнотой процесса разложения исходных минералов, на практике установлено, что ППП сразу после обжига вяжущего не должно быть, но, в течение некоторого времени хранения вяжущего, на поверхности его частиц адсорбируется тонким слоем вода, общее количество адсорбционной воды не должно превышать 8 % [19]. Свободной влаги в материале быть не должно, вяжущее должно быть надежно защищено от попадания влаги из окружающей среды для предотвращения снижения прочности при частичной гидратации.

Физико-механические свойства

Согласно техническим условиям [18] насыпная плотность при вибрировании должна находиться в пределах 1150-1350 кг/м³, при тонкости помола по остатку на сите 008 не более 15 %. Этим показателем можно косвенно характеризовать степень закристаллизованности (активность) оксида магния [20,21]. Тонкость помола является важной характеристикой и должна контролироваться. Недостаточный помол и присутствие крупных частиц могут вызвать появление трещин, так как крупные частицы будут гидратировать с увеличением объема в более поздние сроки внутри сформировавшегося камня. Степень измельчения магнезимального вяжущего выражается остатком на стандартных ситах № 02 и № 008, взятых в массовых процентах. Согласно техническим условиям [18] тонкость помола вяжущего должна соответствовать остаткам на ситах:

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

Для обеспечения высоких физико-механических характеристик на протяжении всего периода эксплуатации магнезимальные материалы должны изготавливаться из качественного вяжущего строительного назначения, соответствующего требованиям технических условий [18].

Механические свойства

Нормальная густота характеризует минимальное количество водного раствора затворителя, необходимое для получения теста нормальной консистенции при которой пестик прибора Вика погружается в тесто на 4 – 10 мм, определяется эта характеристика в соответствии с ГОСТ 1216-87.

Сроки схватывания магнезимального теста нормальной густоты при затворении вяжущего водным раствором MgCl₂ плотностью 1,20 г/см³ должны быть:

- начало схватывания не ранее 40 минут;
- конец схватывания не позднее 6 часов с момента затворения смеси.

Сроки схватывания вяжущего, кроме уточнения особенностей работы с ним, дают также информацию об активности в нем оксида магния. Так, если начало схватывания вяжущего составляет 20 мин и менее, то оно непременно содержит высокоактивный, слабообожженный MgO и непригодно для использования в

строительстве [18]. Слишком затянувшиеся сроки схватывания указывают на присутствие в вяжущем значительного количества пережога, что вызовет в последующем растрескивание полученных на этом вяжущем изделий [19]. Согласно Европейскому стандарту EN 14016-1:2004 начало схватывания вяжущего должно наступать не ранее 30 минут после затворения, по ранее действовавшим стандартам ОСТ 3035-33 и DIN 273 ч. 1 – начало схватывания предусматривалось не ранее 40 минут. Российский ГОСТ 1216-87 допускает начало схватывания не ранее 20 минут, что позволяет считать пригодными для использования в строительстве любые магнезиальные порошки с непредсказуемыми техническими свойствами.

Равномерность изменения объема – образцы-лепешки из смеси нормальной густоты после 1 суток твердения на воздухе и 1 суток выдержки в воде не должны разрушаться и иметь радиальные или сетчатые трещины [19].

Испытание равномерности изменения объема магнезиального камня в процессе твердения также является косвенным показателем активности и, соответственно, качества магнезиального вяжущего строительного назначения. Большинство рассматриваемых стандартов обязательно включают требование к равномерности изменения объема.

Образцы-лепешки из качественного, нормально обожженного магнезиального вяжущего после длительной выдержки в воде в течение 7 суток и более сохраняют целостность и не образуют трещин. Это объясняется тем, что вяжущее средней активности, при затворении раствором $MgCl_2$ с плотностью $1,20 \text{ г/см}^3$ и выше в процессе гидратации формирует камень, в котором основной составляющей являются оксигидрохлориды магния, обеспечивающие ему высокую плотность, однородность и прочность.

Прочность при сжатии образцов магнезиального камня, изготовленных из теста нормальной густоты в:

- сутки твердения – не менее 10 МПа;
- суток твердения на воздухе, должна быть не менее 40 МПа.

Для строительных изделий важной характеристикой магнезиальных вяжущих является прочность при сжатии ($R_{сж}$) и изгибе ($R_{изг}$). Данные характеристики

включены в американский и европейские стандарты, в российском они отсутствуют. По величине $R_{сж}$ через 1 сутки твердения на воздухе при температуре 20 ± 50 °С можно судить об активности вяжущего, а по прочности вяжущего в 28 суточном возрасте – по его марке.

Водостойкость магнезиального камня оценивается по коэффициенту размягчения, который определяют по отношению прочности при сжатии половинок балочек 4x4x16 см выдержанных 1 суток в воде и сухих – $K_{разм} = R_{вл}/R_{сух}$. Величина коэффициента размягчения зависит от вида затворителя и колеблется в пределах 0,56 – 0,65. Магнезиальное вяжущее относят в 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].

1.3 Деформации магнезиального камня

В настоящее время установлено, что трещины могут образовываться по двум основным причинам: при наличии в вяжущем высокоактивного MgO или низкоактивного MgO - «пережога» [8]. Наличие «пережога» связано с обжигом сырья при температурах выше оптимальных и вызывает появление в магнезиаль-

ном материале магистральных трещин в основном в период эксплуатации (до нескольких лет). Трещины в магнезиальном камне образуются в результате поздней гидратацией «пережога», которая происходит с увеличением объема гидратирующихся «пережженных» частиц в несколько раз. Наличие «пережога» характерно для порошка магнезитового каустического, который является, по сути, побочным продуктом производства получения огнеупоров на ОАО «Комбинат Магнезит» [78].

Присутствие в магнезиальном вяжущем значительного количества высокоактивного оксида магния (образовавшееся при недостаточном обжиге) вызывает появление в формирующемся камне паутинообразных трещин, что приводит к значительному снижению прочности или даже разрушению камня вследствие распада на мелкие блоки через короткое время после изготовления материала или конструкции (до 28 суток). Эта проблема характерна для вяжущих, получаемых специально, так как производителю выгодно получать вяжущее при минимально возможных температурах с целью экономии энергии, затрачиваемой на обжиг исходной породы. Однако зачастую для производства магнезиального вяжущего из природных пород, особенно в присутствии значительного количества примесей требуется высокотемпературный обжиг. Например, при использовании серпентинизированных бруситов минимальная температура обжига должна составлять 1100 °С в связи с наличием труднорастворимых примесей, тормозящих формирование оксида магния требуемого размера кристаллов [19]. Это приводит к большим затратам энергии, использованию дорогостоящих огнеупоров и т.д.

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;

Оксид магния разной степени закристаллизованности значительно различается по активности и свойствам и, следовательно, формирование структуры и гидратация на вяжущих различного происхождения и производства будут протекать по-разному. Все это сказывается 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/см³ 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.

При обжиге природных магнезитов максимальная гидравлическая активность образующегося каустического магнезита достигается в диапазоне температур 650 – 900 °С, при более высоких температурах активность падает, а при температуре 1400 °С и выше образуется «намертво обожженный» магнезит, практически не проявляющий вяжущих свойств.

Исходя из этого, следует сделать вывод, что для получения магнезиального вяжущего обжиг магнезита следует вести в условиях мягкого обжига (в диапазоне температур 660 – 800 °С), обеспечивающего неполное разложение $MgCO_3$ – до неполной степени декарбонизации.

Новообразованный каустический магнезит, будучи по составу и структуре аналогом периклаза, отличается от последнего рядом специфических особенно-

стей: 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.

1.4 Стекломагнезиальный лист и требования к сырью

Стекломагнезиальный лист – это наиболее распространённый материал, получаемый на основе магнезиальных вяжущих. Его производители часто сталкиваются с проблемами, которые не позволяют занять уверенные позиции на рынке строительных материалов и полноценно конкурировать с гипсовыми листами.

Основная масса СМЛ, производящихся в настоящее время в России и завозимых из Китая, не отличается высоким качеством. Это выражается в короблении продукции, изменении линейных размеров, откалывании углов, снижении прочности и растрескивании под воздействием воды или даже влаги воздуха, и, в первую очередь, связано с нестабильным качеством магнезиальных вяжущих в настоящее время, производимых в России. Отмеченная нестабильность качества связана в основном с образованием трещин из-за неравномерности изменения объема при твердении вяжущих. Однако равномерность изменения объема для магнезиальных вяжущих не нормируется ГОСТ 1216 и большинство ведущих современных исследователей в этой области не уделяют этому должного внимания [59,61,60].

Стекломагнезиальный лист, СМЛ – это универсальный строительно-отделочный материал для монтажа перегородок и потолков, облицовки существующих стен и фасадов, изготовления звукопоглощающих изделий, а также огнезащитных и влагозащитных покрытий в жилых, общественных и производственных зданиях.

СМЛ изготавливают на основе магнезиального вяжущего. Кроме магнезиального вяжущего для производства СМЛ так же используются: затворитель – водный раствор бишофита ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$); легкие заполнители - перлит, опилки; наполнитель – тальк; воздух, а также армирующая сетка.

СМЛ – экологичен, не содержит вредных и токсичных веществ. Стекломагнезиальные листы обладают высокими физико-механическими и технико-эксплуатационными свойствами: высоким пределом прочности при изгибе – не менее 17 МПа, повышенным коэффициентом размягчения не менее 0,9, классом пожарной опасности – НГ, значительным коэффициентом паропроницаемости – не менее 0,07 мг/(м·час·Па). Такие характеристики СМЛ определяют широкий спектр их применения для внутренней отделки помещений с любым температурным и влажностным режимом, производители так же рекомендуют применять этот материал для наружной отделки и отделки пожарных выходов. Производство СМЛ связано с исключительно низкими затратами энергии. Сырьевая смесь не требует операции уплотнения, например, вибрации или прессования, производят только заглаживание поверхности листов. А в процессе твердения материал не подвергается тепловой обработке, так как твердеет и набирает достаточную прочность для проведения дальнейших технологических операций в течение нескольких часов на воздухе.

На рисунке 1 представлена структура стекломагнезиального листа.

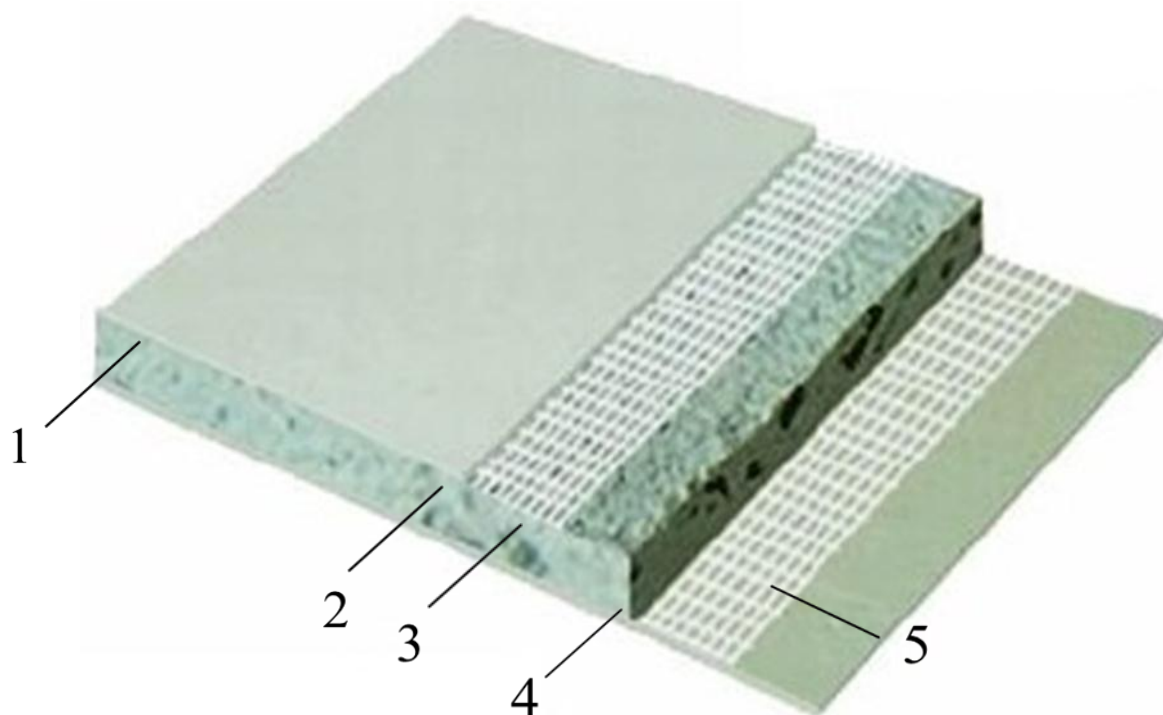


Рисунок 1 – Структура СМЛ.

1. Лицевой поверхностный слой (толщина слоя до 1мм).
2. Слой стеклосетки, придающей прочность.
3. Легкий бетон (зависит от толщины листа).
4. Второй армирующий слой стеклосетки.
5. Задний слой (толщина до 1 мм) или нетканый материал (спанбонд).

Лицевой поверхностный слой определяет эстетический вид СМЛ. Данный слой имеет повышенную гладкость и предназначен для окрашивания, наклеивания обоев, ламинирования и нанесения различных видов текстур без предварительного, окончательного шпатлевания и грунтования всей поверхности материала, что позволяет снизить затраты на отделочные работы.

Стеклосетка, обеспечивает высокую сопротивляемость материала динамическим нагрузкам и прочность СМЛ при изгибе;

Основной слой – легкий бетон, состоит из камня магнезиального вяжущего, перлита, талька, древесных опилок, отхода от производства СМЛ, воздуха, добавок.

Тыльная (шероховатая) поверхность листов обеспечивает прочное сцепление при приклеивании штучных облицовочных и декоративных материалов (ке-

рамической или кафельной плитки, шпона и т. п.), либо самого материала на стены и пол, склейке листов между собой.

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

1. Установлено, что магнизиальные материалы являются востребованными в сфере стройиндустрии.
2. На основе литературных данных были выявлены основные характеристики СМЛ и области его применения.
3. Установлено, что повышенные деформации магнизиального камня снижает эксплуатационные характеристики материалов на его основе, в том числе СМЛ.
4. Выявлено, что не все факторы, влияющие на свойства и фазовый состав магнизиального камня в полной мере изучены.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выдвинуто предположение о влиянии на эти характеристики плотности и количества затворителя (водного раствора хлорида магния). Возможно, это позволит решить технологические проблемы, возникающие при производстве и дальнейшей эксплуатации стекломagneзиального листа.

Цель работы: выявить влияние различных факторов на деформации магнезиального камня.

Задачи:

1. Оценить влияние количества и плотности затворителя на прочность на сжатие и изгиб в 1 и 28 сутки твердения.
2. Оценить влияние количества и плотности затворителя на линейные деформации во 2, 3, 7 и 28 сутки твердения.
3. Определить влияние количества и плотности затворителя на фазовый состав магнезиального камня в 1 и 7 сутки твердения
4. Оценить взаимосвязь фазового состава магнезиального камня и его линейные деформации.
5. Определить наиболее эффективную плотность затворителя магнезиального вяжущего и оценить влияние на свойства магнезиального вяжущего и камня.
6. Определить наиболее эффективное количество затворителя магнезиального вяжущего и оценить влияние на свойства магнезиального вяжущего и камня.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1 Физико-механические методы испытаний

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

Таблица 10 – Методы испытаний

Вид испытаний	Метод испытаний
Нормальная густота, сроки схватывания магнезиального вяжущего	ГОСТ 1216-87 [17]
Прочность на изгиб при сжатии и изгибе магнезиального вяжущего, равномерность изменения объема, тонкость помола магнезиального вяжущего	ТУ 5744-001-60779432-2009 [12]
Исследование линейных деформаций	ГОСТ 24544-81 [28], DIN 52450 [29]

Исследование линейных деформаций проводили на приборах для измерения усадки Schwindmessgerat Typ B.

2.2 Физико-химические методы испытаний

Фазовый состав исходной породы и полученных вяжущих изучали с помощью термического метода анализа, а также с помощью электронно-растровой микроскопии.

2.2.1 Термический анализ

Термический анализ применяли для исследования фазового состава исходной породы и продуктов ее обжига. Под термическим анализом понимается совокупность трех методов: дифференциально-термического анализа (ДТА), термогравиметрического или термовесового (ТГ) и дифференциально-термогравиметрического (ДТГ). Сущность дифференциально-термического анализа заключается в изучении фазовых изменений или превращений, происходящих в материале при его нагревании, по сопровождающим эти превращения тепловым эффектам.

Эндотермические эффекты на дифференциальной кривой могут быть вызваны следующими физико-химическими процессами:

- дегидратацией вещества;
- диссоциацией;
- некоторыми полиморфными превращениями;
- плавлением;

Причинами экзотермического эффекта могут быть:

- реакция окисления;
- реакция образования новых соединений;
- полиморфные превращения, сопровождающиеся переходом неустойчивой при данной температуре модификации в устойчивую;
- переход из аморфного состояния в кристаллическое [34].

Получение кривых потери массы вещества ТГ при непрерывном нагревании осуществляется при помощи динамического взвешивания. Исследования проводили на дериватографе системы “Luxx STA 409” немецкой фирмы “Netsch”. Режим съемки и условия проведения испытаний назначались по данным литературных источников [34]. Скорость подъема температуры в печи – 10 °С/мин, максимальная температура нагрева – 1000 °С. Для проведения испытания использовали платиновые тигли, нагрев проводили в среде азота.

2.2.2 Рентгенофазовый анализ

Основной задачей рентгенофазового анализа (РФА) является идентификация различных фаз в их смеси на основе анализа дифракционной картины, даваемой исследуемым образцом. Определение вещества в смеси проводится по набору его межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограмме.

Когерентно рассеянные рентгеновские лучи интерферируют между собой, при этом дифракционной решеткой для рентгеновского излучения служит кристаллическая решетка, поскольку межплоскостные расстояния в кристалле сравнимы с длиной волны излучения.

Целью рентгенофазового анализа является идентификация вещества в смеси по набору его межплоскостных расстояний (d) и относительным интенсивностям (I) соответствующих линий на рентгенограмме. Для этого, согласно закону Брегга – Вульфа, необходимо определение углов отражения θ .

2.3 Математическое планирование эксперимента

Математическое планирование эксперимента включает: выбор и обоснование плана эксперимента, проведение опытов по выбранному плану с необходимым количеством повторов, математическую обработку результатов эксперимента с целью получения регрессионных зависимостей, анализ полученных зависимостей [35].

При реализации 2-х факторных экспериментов в работе использовались планы второго порядка, позволяющие получать регрессионные зависимости вида:

$$M(x,y)=b_0+b_1x+b_2y+b_{11}x^2+b_{12}xy+b_{22}y^2 \quad (2.3.1)$$

Таблица 11 – Кодовая таблица факторов

№ состава	Код фактора X	Код фактора Y
1	-1	-1
2	0	-1
3	+1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	+1	0
7	-1	+1
8	0	+1
9	+1	+1

После экспериментальной реализации плана проводили обработку результатов с помощью программ на ПК, которая включала:

1. Проверку гипотезы равнозначности проведенных экспериментов по критерию Кохрена. Для этого определялась величина:

$$G^{расч} = S_{y_{max}}^2 / (\sum S_y^2), \quad (2.3.2)$$

где $S_{y_{max}}^2$ – наибольшая в ряду дисперсий.

Рассчитанную по формуле величину сравнивали со значением G-критерия, взятым из таблицы, в зависимости от уровня значимости α , числа степеней свободы $f = r - 1$ и числа опытов N . Ряд дисперсий считается однородным, если выполняется условие:

$$G^{расч} < G^{табл} \quad (2.3.3)$$

2. Расчет коэффициентов регрессионного уравнения;
3. После расчета коэффициентов уравнения регрессии проверяется гипотеза об их значимости сравнением абсолютной величины коэффициента с его доверительным интервалом, рассчитанным по формуле:

$$\Delta_{bi} = t_{\alpha; f} S_{bi}, \quad (2.3.4)$$

где t – критерий Стьюдента, принимается из таблицы [36];

S_{bi} – дисперсия оценок коэффициентов, рассчитывается по формуле:

$$S_{b0} = c_7 S_y; \quad S_{bi} = c_8 S_y; \quad S_{bij} = c_9 S_y; \quad S_{bii} = (c_5 + c_6) S_y, \quad (2.3.5)$$

где c_5, c_6, c_7, c_8, c_9 – константы, принимаемые согласно [36].

Коэффициент считается статистически значимым, когда его абсолютная величина больше доверительного интервала или равна ему:

$$|b_i| \geq \Delta_{bi}. \quad (2.3.6)$$

Для проверки пригодности полученного уравнения регрессии вычислялась дисперсия адекватности по формуле:

$$S_{ad}^2 = (\sum (y^{эксп} - y^{расч})^2) / (N - (k + 1)), \quad (2.3.7)$$

где $(k + 1)$ – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии; $y^{эксп}$, $y^{расч}$ – соответственно экспериментальные и расчетные значения отклика.

Определяли расчетное значение критерия Фишера по формуле:

$$F^{расч} = S_{ad}^2 / S_y^2 \quad (2.3.8)$$

Затем его сравнивали с табличным значением F – критерия для степеней свободы, с которыми определялись S_{ad}^2 и S_y^2 , то есть

$$f_{ad} = N - (k + 1) \quad (2.3.9)$$

$$f_y = N \cdot (r - 1), \quad (2.3.10)$$

где N – общее число экспериментов в плане; r – число параллельных измерений в каждом опыте.

В случае, если $F^{\text{расч}} < F$, то уравнение с вероятностью $p = 1 - \alpha$ адекватно описывает изменение исследуемого свойства от задаваемых параметров и его можно использовать для решения технологических задач.

2.4. Построение изолиний поверхностей откликов.

Определение достоверности откликов

Для оценки достоверности полученных результатов вычисляли коэффициент вариации V_m . При контроле по образцам среднее квадратическое отклонение в партии (S_m) при числе единичных значений в партии n больше шести определяется по формуле:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}}, \quad (2.4.1)$$

где R_i – единичное значение отклика; R_m – среднее значение отклика.

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

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (2.4.2)$$

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

Значения α приведены ниже.

Таблица 12 – Значения коэффициента α

Число единичных значений	n	2	3	4	5	6
Значение коэффициента	α	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

Коэффициент вариации в партии (V_m) в процентах вычисляют по формуле:

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} \cdot 100 \quad (2.14)$$

Достоверность результатов

Достоверность научных выводов и результатов работы обеспечена применением стандартных методов и поверенного оборудования при испытании материалов в условиях аттестованной лаборатории, использованием адекватных мате-

матических моделей и их анализом, необходимым числом образцов в серии для обеспечения доверительной вероятности результатов испытаний, равной 0,95. Значение доверительного интервала рассчитывали по формуле

$$\Delta R = \sigma \cdot S_m \quad (2.11)$$

При этом σ принимали равным 2, что соответствует достоверности 95%, традиционно используемой в технике [37]. Количество повторов опытов для получения результатов, с достоверностью 95 %, попадающие в доверительный интервал среднее значение ± 5 %, приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Количество повторов опыта для принятых методик испытаний

Вид испытаний	Количество повторов опытов
Нормальная густота	3
Сроки схватывания магнезиального вяжущего	3
Прочность на сжатие магнезиального вяжущего	3
Прочность на изгиб магнезиального вяжущего	3
Измерение деформаций	2

2.7 Исходные материалы

2.7.1 Магнезиальное вяжущее

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

Магнезиальное вяжущее ПМК-75 («Комбинат «Магнезит», г. Сатка) соответствующий ГОСТ 1216-87 [17] и разработанным на кафедре «Строительные материалы» ТУ 5745-004-70828456-2005 [38] со следующими основными свойствами (таблица 14).

Таблица 14 – Основные свойства каустического магнезита ПМК-75

Физические свойства	Показатель
Нормальная густота для плотности затворителя 1,1 г/см ³ (по погружению пестика прибора Вика 4...10 мм), %	49
Нормальная густота для плотности затворителя 1,2 г/см ³ (по погружению пестика прибора Вика 4...10 мм), %	53
Нормальная густота для плотности затворителя 1,3 г/см ³ (по погружению пестика прибора Вика 4...10 мм), %	55
Насыпная плотность, г/см ³	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
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

(MgCl₂ и др.). Их можно использовать только при твердении на воздухе (20±5°С) с относительной влажностью менее 65±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.

2.7.2 Хлорид магния шестиводный технический (бишофит)

Технический хлористый магний (бишофит MgCl₂·6H₂O) использовали как добавку-интенсификатор обжига и как затворитель вяжущего.

Требования, предъявляемые к качеству бишофита, соответствовали ГОСТ 7759-73 [50] (таблица 15).

Таблица 15 – 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
Массовая доля ионов магния (Mg ²⁺), % не менее в том числе на MgCl ₂ ·6H ₂ O, %	не менее 11,8 не менее 97	– 97,5
Массовая доля сульфат-ионов (SO ₄) ²⁻ , %	не более 1,1	0,8
Массовая доля ионов щелочных металлов (Na ⁺ +K ⁺), %	не более 0,8	0,2
Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %	не более 0,2	0,15

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Исследование влияния плотности и количества затворителя на свойства магнезиального вяжущего

На основе проведенного литературного обзора, для определения влияния количества бишофита на свойства магнезиального вяжущего был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент, варьируемые факторы: количество затворителя и его плотность. Отклики: предел прочности при сжатии в 1 и 28 сутки, сроки схватывания, линейные деформации, минералогический состав магнезиального камня.

Для проведения эксперимента изготавливали образцы балочки 4x4x16 см из теста магнезиального вяжущего ПМК-75, с добавлением затворителя (раствора $MgCl_2 \cdot 6H_2O$) в количестве, необходимом для обеспечения нормальной густоты, а так же увеличением количества затворителя в размере + 10 % и + 20 % от необходимого, для обеспечения нормальной густоты. Так же изменялась плотность затворителя, которая составляла 1,1, 1,2 и 1,3 г/см³.

Результаты определения влияния изменения варьируемых факторов на прочность магнезиального камня приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты испытаний образцов на сжатие и изгиб

Со- став	Плотность затворителя	Количество затворителя	Предел прочности			
			при сжатии, МПа		при изгибе, МПа	
	Значение, г/см ³	Значение, % от НГ	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
1	1,1	100	4,82	25,28	4,19	2,16
2	1,2	100	23,60	34,89	4,95	3,44
3	1,3	100	45,12	44,70	7,47	9,75
4	1,1	110	6,56	20,13	3,64	2,06
5	1,2	110	21,40	35,08	5,47	3,45
6	1,3	110	61,82	51,64	8,47	10,5
7	1,1	120	3,64	17,12	3,13	1,99
8	1,2	120	20,40	19,44	6,47	1,79
9	1,3	120	44,18	69,20	9,47	22,5

На основании результатов исследований прочности, были построены следующие зависимости (рисунки 3.1 – 3.4):

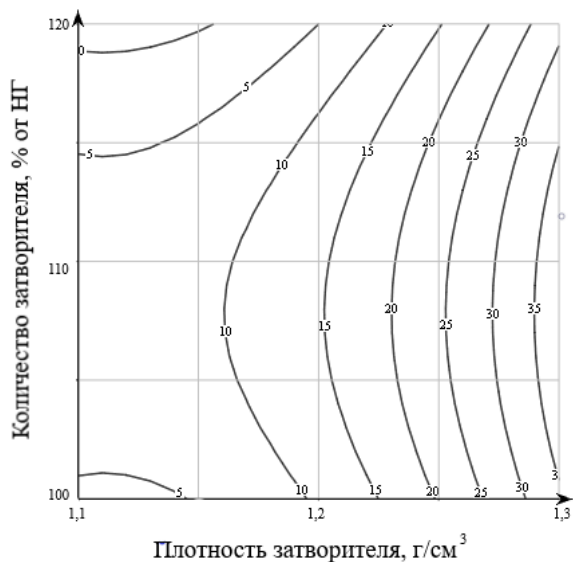


Рисунок 3.1 – Зависимость предела прочности на сжатие в 1 сутки от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,032).

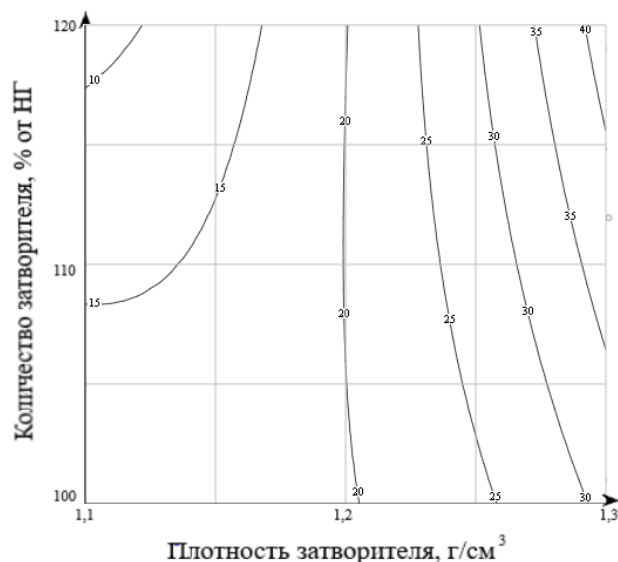


Рисунок 3.2 – Зависимость предела прочности на сжатие в 28 суток от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,023).

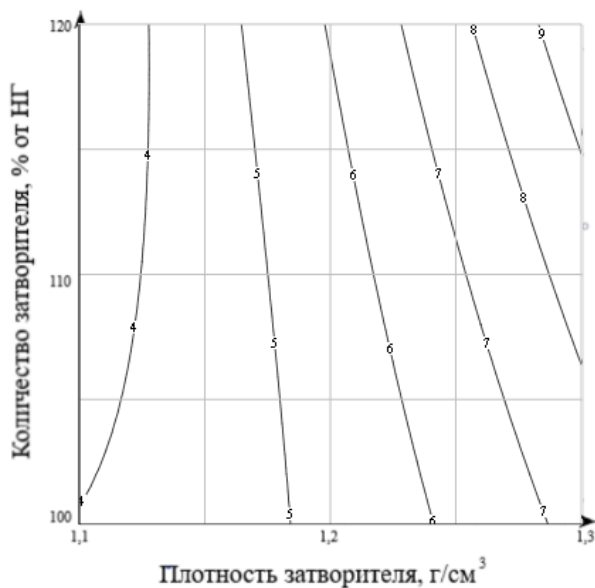


Рисунок 3.3 – Зависимость предела прочности на изгиб в 1 сутки от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,011).

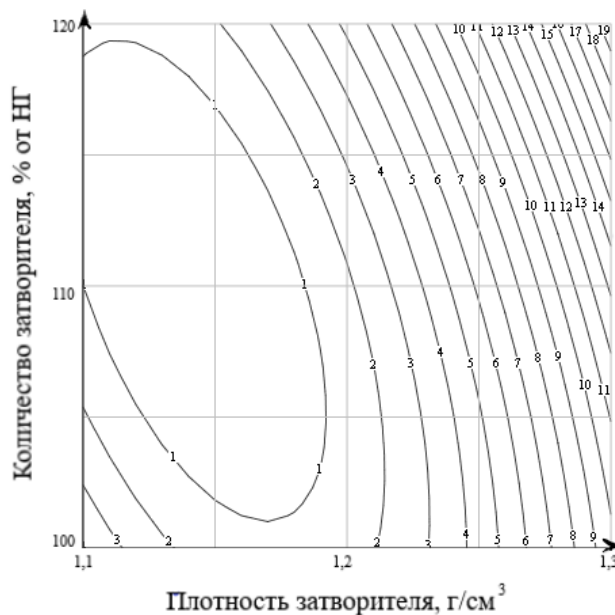


Рисунок 3.4 – Зависимость предела прочности на изгиб в 28 суток от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 1,069).

1. Из построенных зависимостей видно, что главным фактором, влияющим на прочность магнезиального камня, является плотность затворителя и на 1, и на 28 сутки твердения. Увеличение количества затворителя, закономерно, приводит к снижению прочности магнезиального камня.

2. При плотности затворителя 1,1 – 1,2 г/см³ и наблюдается снижение прочности на изгиб на 28 сутки. Данное снижение может быть вызвано высокими деформациями, вызвавшими появление трещин на образцах (рисунок 3.14).

3. Незначительное влияние изменения количества затворителя на прочность магнезиального камня связано с тем, что все образцы твердели в ванне с гидрозатвором, что препятствовало испарению воды.

Результаты определения влияния изменения варьируемых факторов на сроки схватывания представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты испытаний образцов на сроки схватывания

Вид состава	Плотность затворителя	Количество затворителя	Сроки схватывания	
			Начало схватывания	Конец схватывания
	Значение, г/см ³	Значение, % от НГ		
1	1,1	100	40	60
2	1,2	100	43	55
3	1,3	100	70	120
4	1,1	110	30	70
5	1,2	110	50	40
6	1,3	110	100	135
7	1,1	120	30	70
8	1,2	120	50	35
9	1,3	120	105	125

На основании результатов исследований сроков схватывания, были построены следующие зависимости (рисунки 3.5, 3.6):

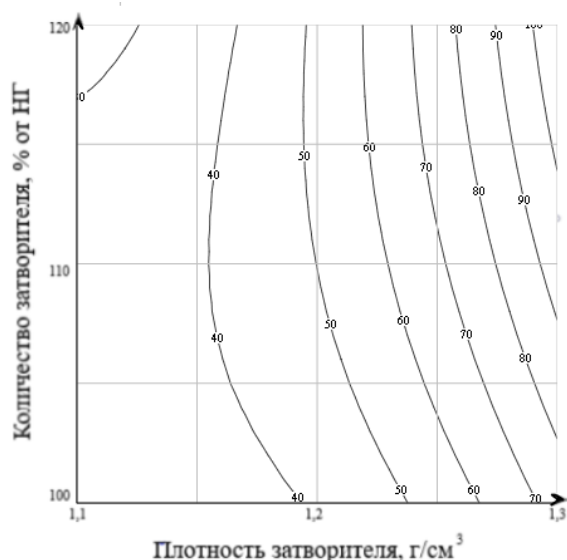


Рисунок 3.5 – Зависимость начала схватывания от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 3,209).

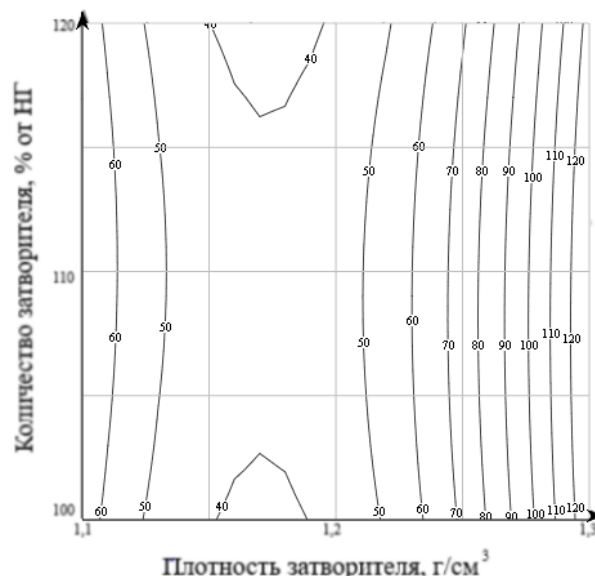


Рисунок 3.6 – Зависимость конца схватывания от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,006).

Согласно построенным зависимостям, можно сделать выводы:

1. С увеличением плотности затворителя и количества водного раствора бишофита наблюдается увеличение сроков начала схватывания, причем главным фактором является плотность. Данный вывод согласуется с результатами исследований, ранее проводимыми, на кафедре Строительные материалы и изделия.

2. Конец схватывания имеет максимальное значение при максимальной плотности затворителя, однако минимальные сроки наблюдаются при плотностях, близких к 1,15 – 1,2 г/см³.

Результаты определения линейных деформаций магниального камня в различные сроки твердения представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты испытаний образцов на линейные деформации

Вид состава	Плотность затворителя	Количество затворителя	Линейные деформации, мм/м			
	Значение, г/см ³		Значение, % от НГ	2 сут	3 сут	7 сут
1	1,1	100	0,9467	1,4077	4,0517	19,4082
2	1,2	100	1,7798	3,2044	7,3667	23,3443
3	1,3	100	0,8563	1,1375	2,6188	6,0375
4	1,1	110	0,7345	1,2422	3,4573	15,1895
5	1,2	110	1,7563	3,1274	6,9476	21,9420

Окончание таблицы 18

Вид со-ста-ва	Плотность затворителя	Количество затворителя	Линейные деформации, мм/м			
	Значение, г/см ³	Значение, % от НГ	2 сут	3 сут	7 сут	28 сут
6	1,3	110	1,1982	1,6939	2,8294	5,2196
7	1,1	120	1,1456	1,5399	3,8558	15,1288
8	1,2	120	1,8419	3,0767	7,0469	17,7757
9	1,3	120	1,8449	2,6517	3,9900	6,1789

На основании результатов исследований линейных деформаций, были построены следующие зависимости (рисунки 3.7, 3.8, 3.9, 3.10):

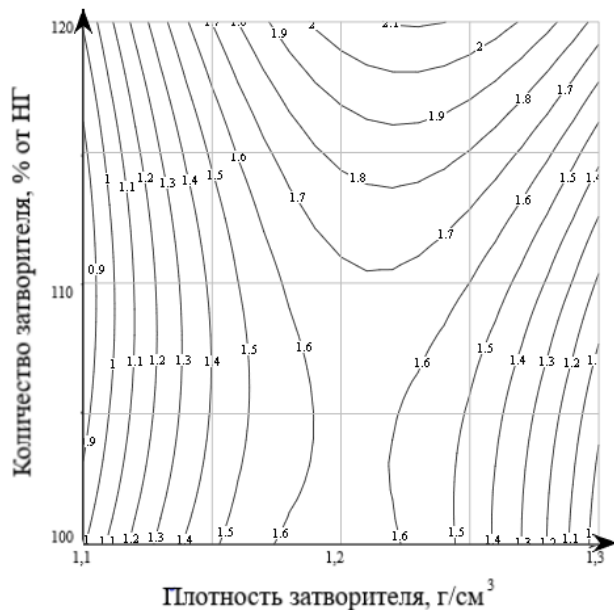


Рисунок 3.7 – Зависимость линейных деформаций во 2 сутки от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,003).

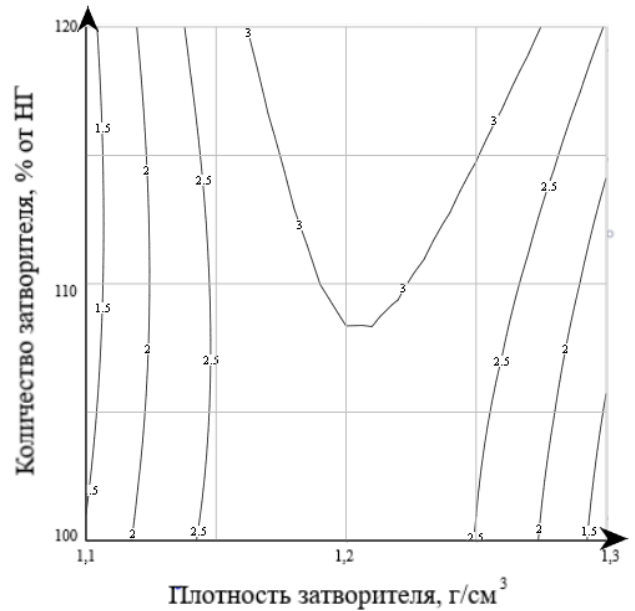


Рисунок 3.8 – Зависимость линейных деформаций в 3 сутки от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,009).

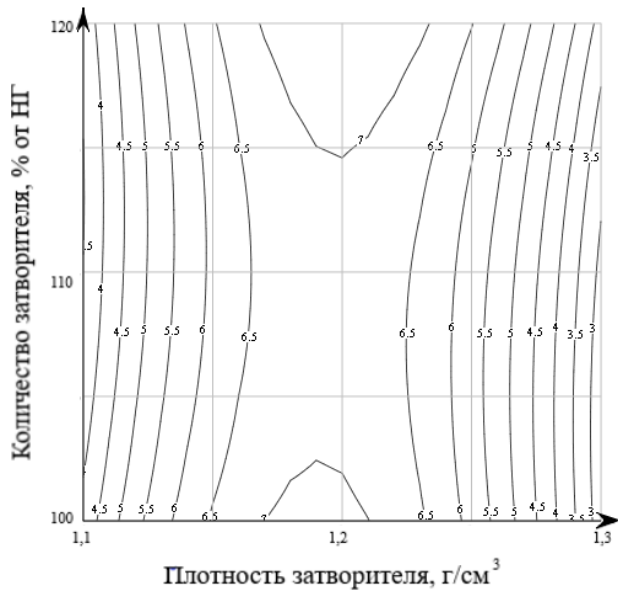


Рисунок 3.9 – Зависимость линейных деформаций в 7 сутки от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,008).

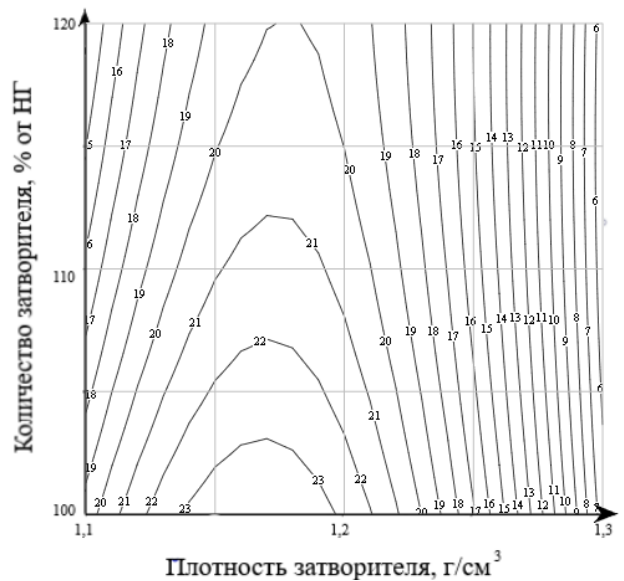


Рисунок 3.10 – Зависимость линейных деформаций в 28 сутки от плотности и количества затворителя (коэффициент Фишера 0,234).

Исходя из построенных зависимостей изменения линейных деформаций, можно сделать выводы:

1. Все испытываемые образцы характеризуются деформациями расширения, деформации нарастают, вплоть до марочного возраста, 28 суток.

2. Во все сутки твердения наименьшие деформации возникают при плотности затворителя 1,1 и 1,3 г/см³, при количестве затворителя, необходимом для обеспечения нормальной густоты. Однако отмечается их увеличение при плотностях, близких к 1,2 г/см³ и количестве водного раствора бишофита от + 10 % от нормальной густоты и выше.

3. В 7 сутки твердения характер зависимости начинает меняться, область максимальных деформаций соответствуют значению факторов: плотность затворителя 1,2 г/см³, количество – 1 % НГ.

4. Такая зависимость линейных деформаций от варьируемых факторов, может быть связана с перекристаллизацией в магнезиальном камне, для подтверждения данной гипотезы будут проведены исследования минералогического состава.

5. Незначительное влияние изменения количества затворителя на деформации магнезиального камня связано с тем, что все образцы твердели в ванне с гидрозатвором, что препятствовало испарению воды.

На рисунках 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 представлены характерные образцы для определения равномерности изменения объема.

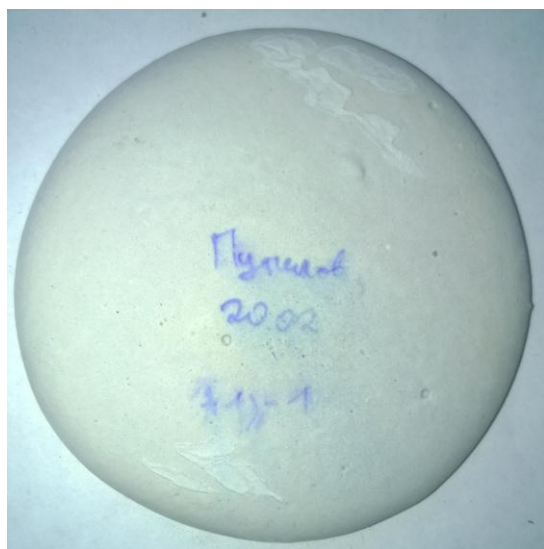


Рисунок 3.11 – Результат испытания на равномерность изменения объема для плотности раствора 1,3 г/см³, НГ

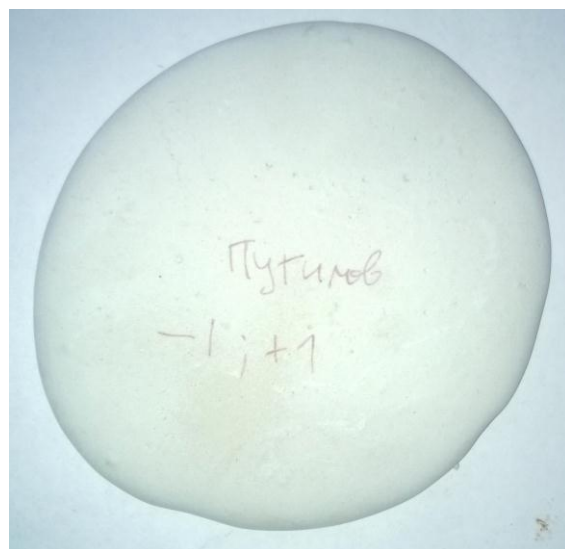


Рисунок 3.12 – Результат испытания на равномерность изменения объема для плотности раствора 1,1 г/см³, НГ + 10 %

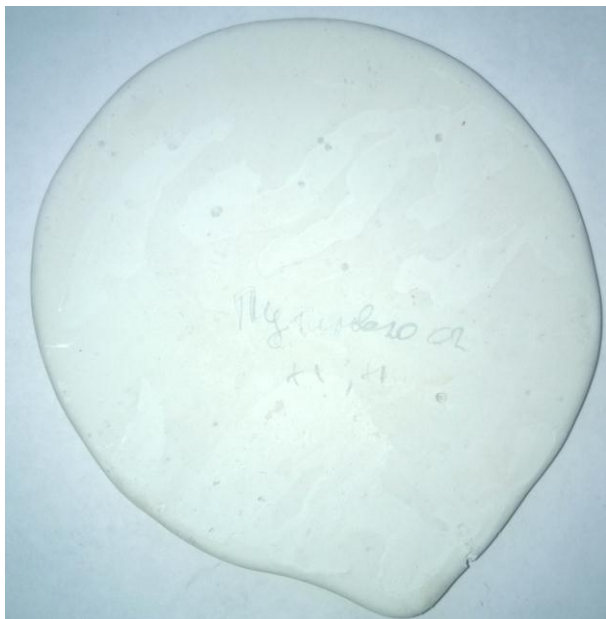


Рисунок 3.13 – Результат испытания на равномерность изменения объема для плотности раствора $1,3 \text{ г/см}^3$, НГ + 20 %



Рисунок 3.14 – Результат испытания на равномерность изменения объема для плотности раствора $1,2 \text{ г/см}^3$, НГ

Исходя из испытаний на равномерность изменения объема, можно сделать выводы:

1. По образцам-лепёшкам, полученным на плотности затворителя $1,2 \text{ г/см}^3$ при НГ можно сделать вывод, что вяжущее не характеризуется равномерностью изменения объема, по характеру трещин можно сделать вывод, что в вяжущем присутствует недожог MgO.

2. Результаты испытаний на равномерность изменения объема подтверждают результаты измерения деформаций, при плотностях близких к $1,2 \text{ г/см}^3$ на образцах появляются сетки трещин. При таких значениях факторов, камень наименее стабилен.

3. Варьирование факторов эксперимента позволяет нивелировать эффект от присутствия недожога оксида магния.

При изменении количества и плотности затворителя, камень деформируется по-разному. Полученные данные, позволяют понять, что для обеспечения высокой прочности и необходимых сроков схватывания для СМЛ наиболее оптимальным является состав с плотностью раствора бишофита $1,3 \text{ г/см}^3$ и добавлением + 20 % от необходимого, для обеспечения нормальной густоты. Это позволит

3.1 Исследование влияния плотности и количества затворителя на фазовый состав магнезиального камня

С целью выявления влияния плотности и количества затворителя на изменение фазового состава магнезиального камня, а также его взаимосвязь с деформациями, было проведено дериватографическое исследование и рентгенофазовый анализ.

3.2.1 Дериватографическое исследование.

На рисунках 3.15 и 3.16 представлены результаты дериватограммы разложения магнезиального камня в 1 и 7 сутки твердения.

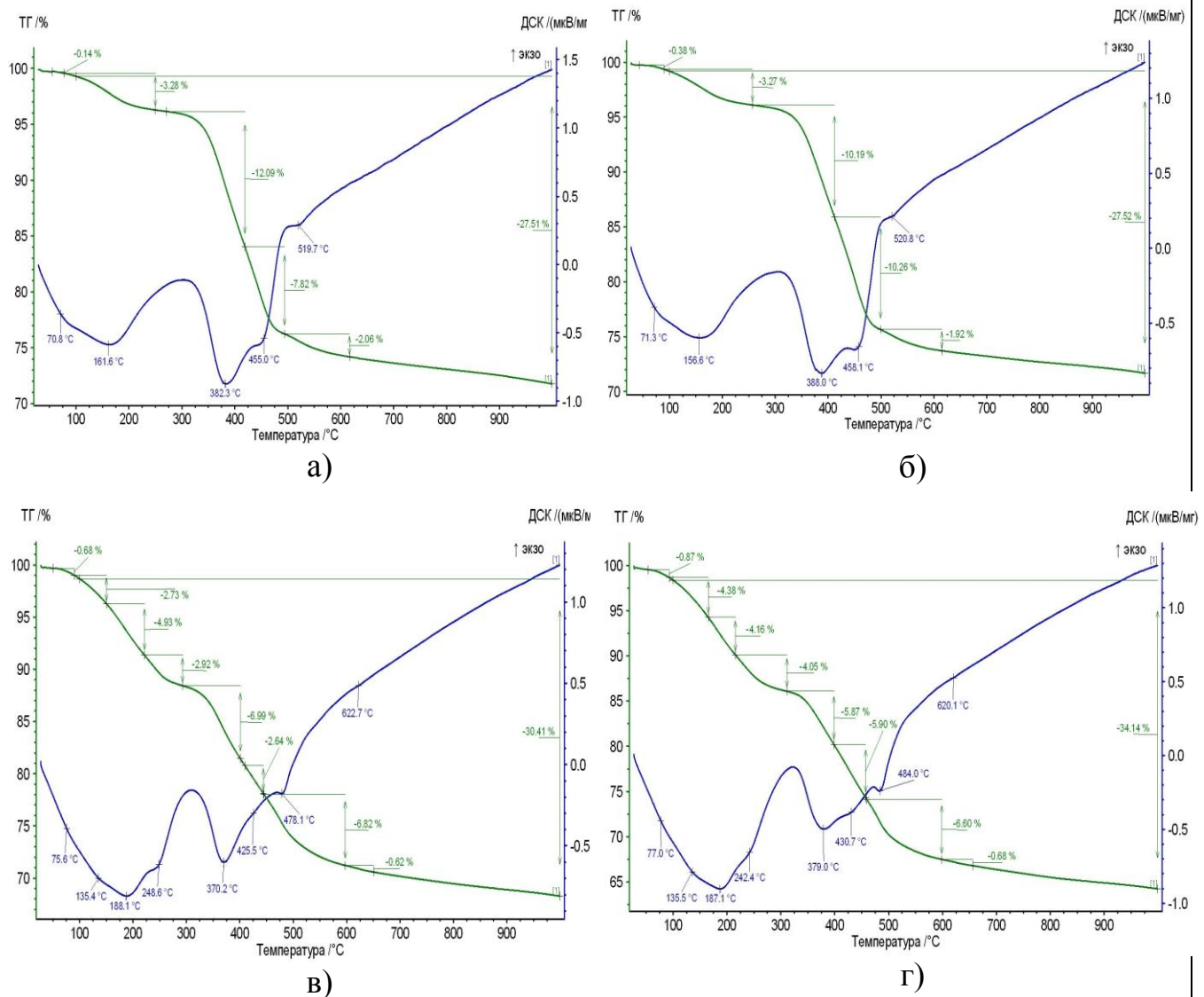


Рисунок 3.15 – Дериватограммы разложения магнезиального камня в 1 сутки твердения: а) при плотности затворителя 1,1 г/см³, НГ; б) 1,1 г/см³, НГ + 20 %; в) 1,3 г/см³, НГ; г) 1,3 г/см³, + 20 % от НГ.

На данных дериватограммах (рисунок 3.15) видно, что минералогический состав магнезиального камня меняется при изменении варьируемых факторов.

Результаты исследования, в первые сутки твердения, приведены в таблице 19.

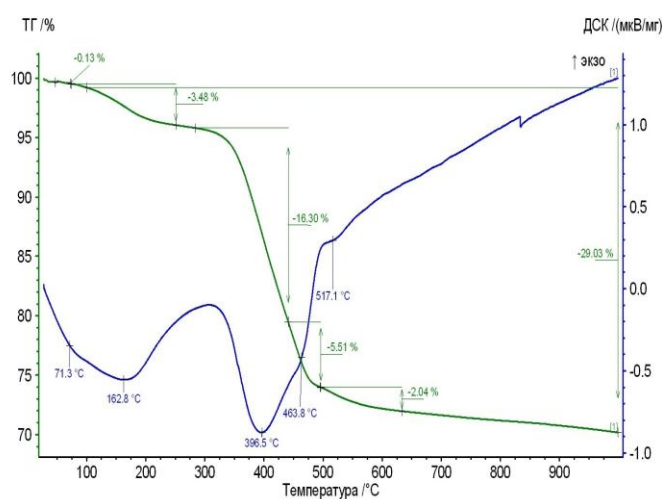
Таблица 19 – Минеральный состав магнезиального камня в первые сутки твердения

Плотность затворителя	Кол-во затворителя	% от общей массы камня				
		Значение, г/см ³	Значение, % от НГ	Mg(OH) ₂	5MgO·MgCl ₂ · 13H ₂ O	3MgO·MgCl ₂ · 11H ₂ O
1,1	100		25,20	39,55	-	64,75
1,3	100		8,51	42,53	13,11	64,15
1,1	120		33,06	34,90	-	67,96
1,3	120		19,01	37,74	19,05	75,80

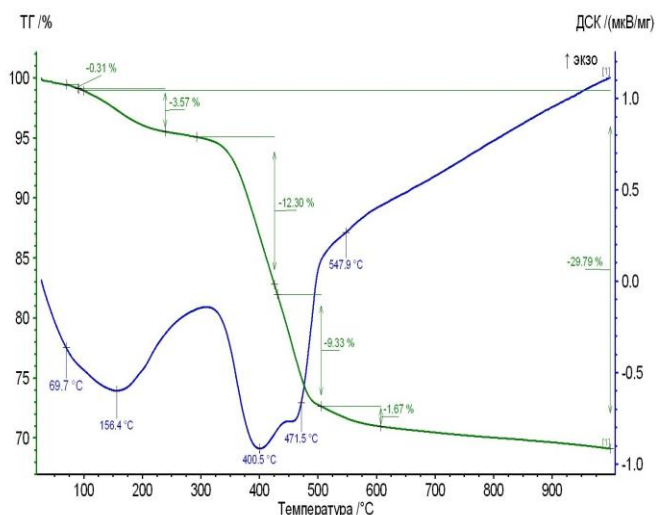
Исходя из полученных данных на 1 сутки твердения:

1. При повышении плотности затворителя наблюдается незначительное повышение количества фазы пентагидрооксихлорида магния.
2. При низкой плотности затворителя не образуется тригидрооксихлорид магния.
3. При увеличении количества затворителя значительно увеличивается содержание гидроксида магния как для низкой, так и для высокой плотности.
4. Так же при увеличении количества затворителя увеличивается количество фазы тригидрооксихлорида магния.
5. Для высокой плотности затворителя при увеличении его количества от НГ до НГ + 20 % наблюдается увеличение содержания фазы тригидрооксихлорида магния и суммы продуктов гидратации в целом.

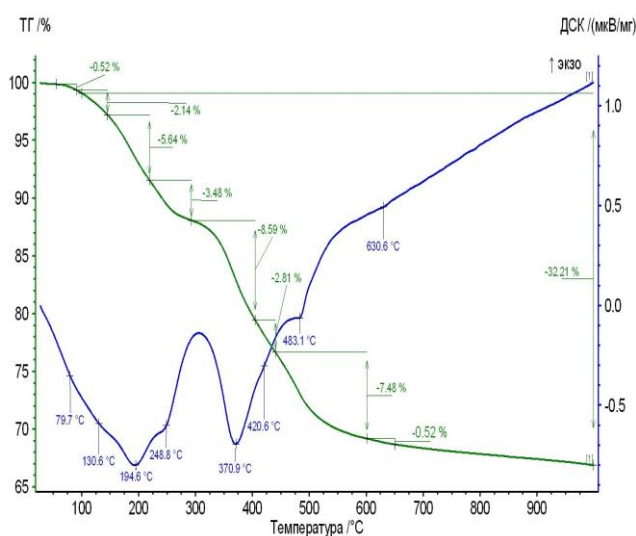
Для получения информации об изменении фазового состава так же был проведен дериватографический анализ разложения магнезиального камня в 7 сутки твердения.



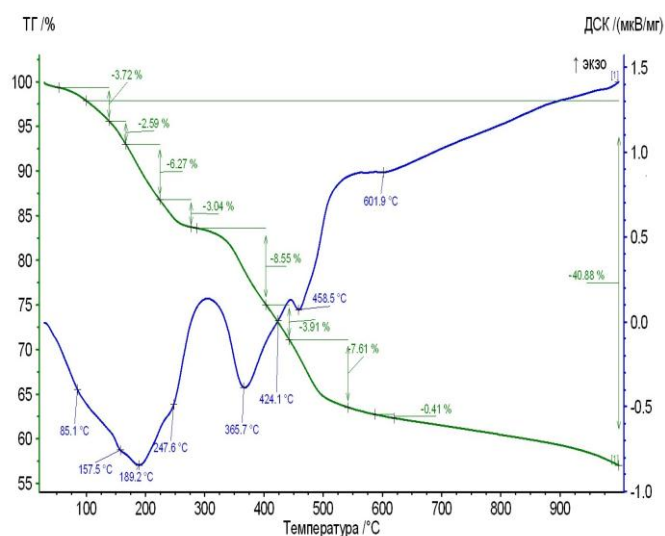
е)



ж)



з)



и)

Рисунок 3.16 – Дериватограммы разложения магниального камня в 7 сутки твердения: е) при плотности затворителя $1,1 \text{ г/см}^3$, количество затворителя, обеспечивающее нормальную густоту; ж) $1,1 \text{ г/см}^3$, + 20 % от НГ; з) $1,3 \text{ г/см}^3$, НГ; к) $1,3 \text{ г/см}^3$, + 20 % от НГ.

По результатам дериватографии на 7 сутки твердения, можно сделать вывод, что фазы, слагающие магниальный камень, остались неизменными, однако изменилось их количественное соотношение.

Таблица 20 – Минеральный состав магнезиального камня в 7 сутки твердения

Плотность затворителя	Кол-во затворителя	% от общей массы камня			
		Значение, г/см ³	Значение, % от НГ	Mg(OH) ₂	5MgO·MgCl ₂ · 13H ₂ O
1,1	100	17,75	49,51	-	67,26
1,3	100	9,05	49,27	12,84	71,16
1,1	120	30,06	39,80	-	69,86
1,3	120	12,60	50,90	12,63	76,13

В результате проведенного дериватографического исследования выявлено, что на 7 сутки твердения не обнаружено появление новых фаз, слагающих магнезиальный камень, однако по сравнению с первыми сутками твердения:

1. Для всех образцов, кроме плотности 1,3 г/см³ и НГ наблюдается снижение количества гидроксида магния.
2. Для образцов, изготовленных на более плотном затворителе снижается количество фазы тригидрооксихлорида магния.
3. У всех образцов увеличивается содержание пентагидрооксихлорида.
4. По-видимому, происходит перекристаллизация тригидрооксихлорида в пентагидрооксихлорида.
5. Наблюдается незначительное увеличение суммы продуктов гидратации для всех образцов.

3.2.2 Рентгенофазовый анализ

С целью подтверждения данных, полученных в результате дериватографического анализа, был проведен рентгенофазовый анализ. Результаты представлены на рисунках 3.17, 3.18, 3.19, 3.20.

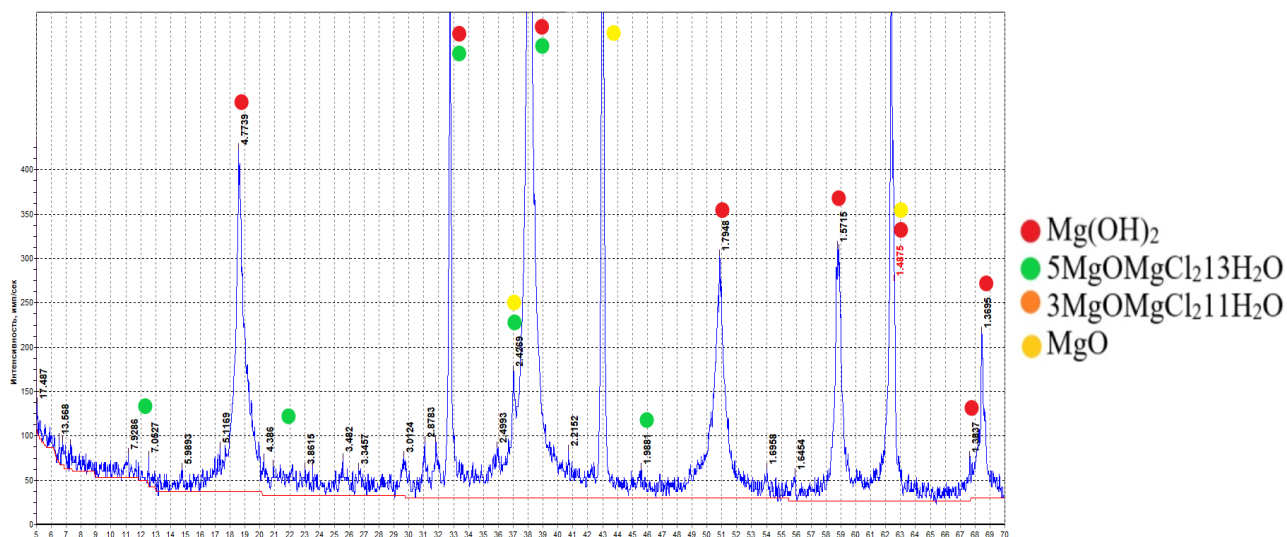


Рисунок 3.17 – Рентгенографическое исследование в 7 сутки твердения при плотности затворителя 1,1 г/см³, количество затворителя, необходимом для НГ;

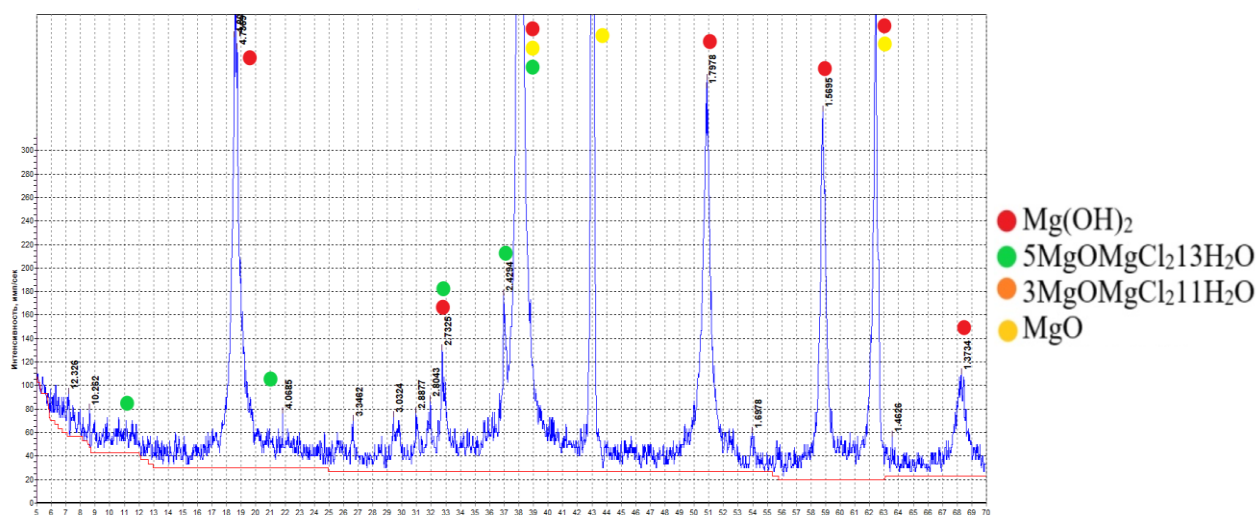


Рисунок 3.18 – Рентгенографическое исследование в 7 сутки твердения при плотности затворителя 1,1 г/см³, + 20 % от НГ;

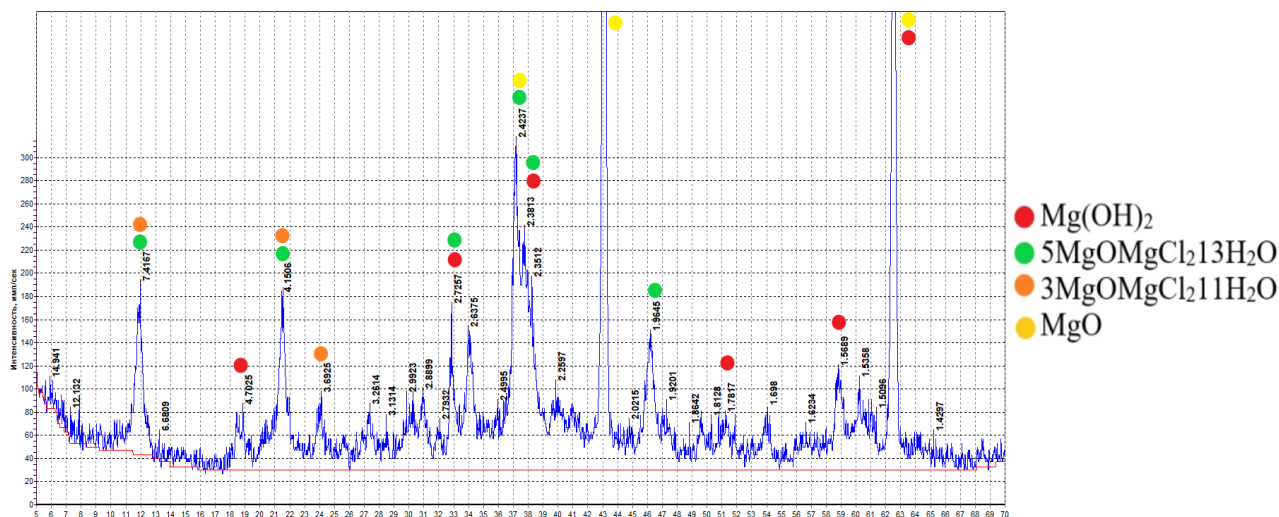


Рисунок 3.19 – Рентгенографическое исследование в 7 сутки твердения при плотности затворителя $1,3 \text{ г/см}^3$, НГ;

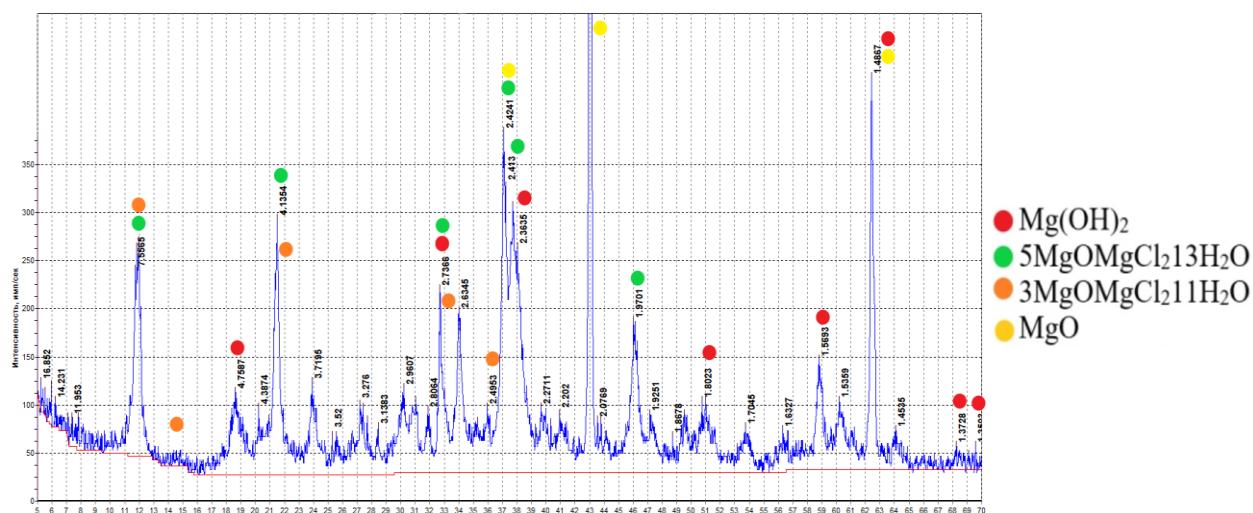


Рисунок 3.20 – Рентгенографическое исследование в 7 сутки твердения при плотности затворителя $1,3 \text{ г/см}^3$, + 20 % от НГ.

Выводы по РФА:

В результате проведения рентгенофазового анализа образцов магниально-го камня в 7 сутки, были подтверждены результаты дериватографического исследования. Доказано наличие всех гидратных фаз:

- тригидрооксихлорида магния для образцов, с плотностью затворителя $1,3 \text{ г/см}^3$, вне зависимости от его количества;
- пентагидрооксихлорида и гидроксида магния для всех образцов.

Так же выявлено наличие фазы непрореагировавшего MgO.

Таким образом, подтверждено, что изменение плотности и количества затворителя влияет на гидратные фазы магнезиального камня и на все его свойства, в том числе, на линейные деформации. Это объясняет коробление некоторых магнезиальных материалов, особенно листовых. При производстве, из-за расслоения, или при твердении, из-за испарения воды и миграции соли, происходит неравномерное распределение затворителя по объему материала, из-за чего возникают его неравномерные деформации.

ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

1. Выявлено, что изменение плотности и количества затворителя значительно влияет на прочность и линейные деформации магнезиального камня, при этом, наибольшие деформации, у исследуемого материала, возникают при использовании затворителя плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$, в количестве, соответствующем нормальной густоте вяжущего.

2. Установлено, что при повышении количества раствора бишофита, вне зависимости от его плотности, наблюдается увеличение содержания гидроксида магния. Количество пентагидрооксихлорида почти не изменяется.

3. Доказано, что при увеличении плотности затворителя, формируется магнезиальный камень содержащий тригидрооксихлорид магния, который склонен к перекристаллизации в пентагидрооксихлорид в поздние сроки твердения;

4. Выявлено, варьированием факторов эксперимента возможно нивелировать неравномерность изменения объема из-за присутствия в магнезиальном вяжущем недожога оксида магния.

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Производство стекломagneзиальных листов начинается с подготовки сырья. Заполнитель (опилки) просеивается и сушится (при необходимости) до влажности 6 %, подается конвейером в смеситель принудительного действия порционно при помощи дозатора, туда же через дозаторы подаются магнезиальное вяжущее, перлит, тальк и отход от производства СМЛ. Компоненты перемешиваются в сухом виде.

Раствор хлорида магния (бишофит) готовится отдельно в растворосмесителе.

В пеногенераторе готовится пена, состоящая из гидролизованной крови и воды.

После дозирования компоненты сухой смеси подаются конвейером в смеситель принудительного действия, куда из растворосмесителя подается бишофит и пена.

От второго смесителя состав подается на установку для формовки листов. С барабана, расположенного над столом, расстилается первый слой стеклосетки, пропитанный ламинирующим раствором, включающим в себя магнезиальное вяжущее, тальк, раствор бишофита, в соотношении 2:1:3. Затем укладывается формовочная смесь, поверх формовочной смеси укладывается второй слой стеклосетки. Лист уплотняется до необходимой толщины при помощи прижимных роликов, затем производится предварительный поперечный раскрой и обрезка продольных кромок. После этого листы двумя ускоряющими ленточными конвейерами направляются в загрузочную этажерку. После заполнения всех ярусов листы транспортируются в загрузочную накопительную тележку и далее в камеру твердения, в которой поддерживается температура 25 ± 2 °С и влажность не более 60 %. После затвердевания в течение 24 часов листы передаются с разгрузочной накопительной тележки в разгрузочную этажерку, откуда по одному подаются на линию окончательной обработки. Раскрой листов осуществляется двумя кромко-обрезными пилами.

Далее листы укладываются в штабеля, сформированные пакеты упаковываются в полиэтиленовую пленку и транспортируются на склад.

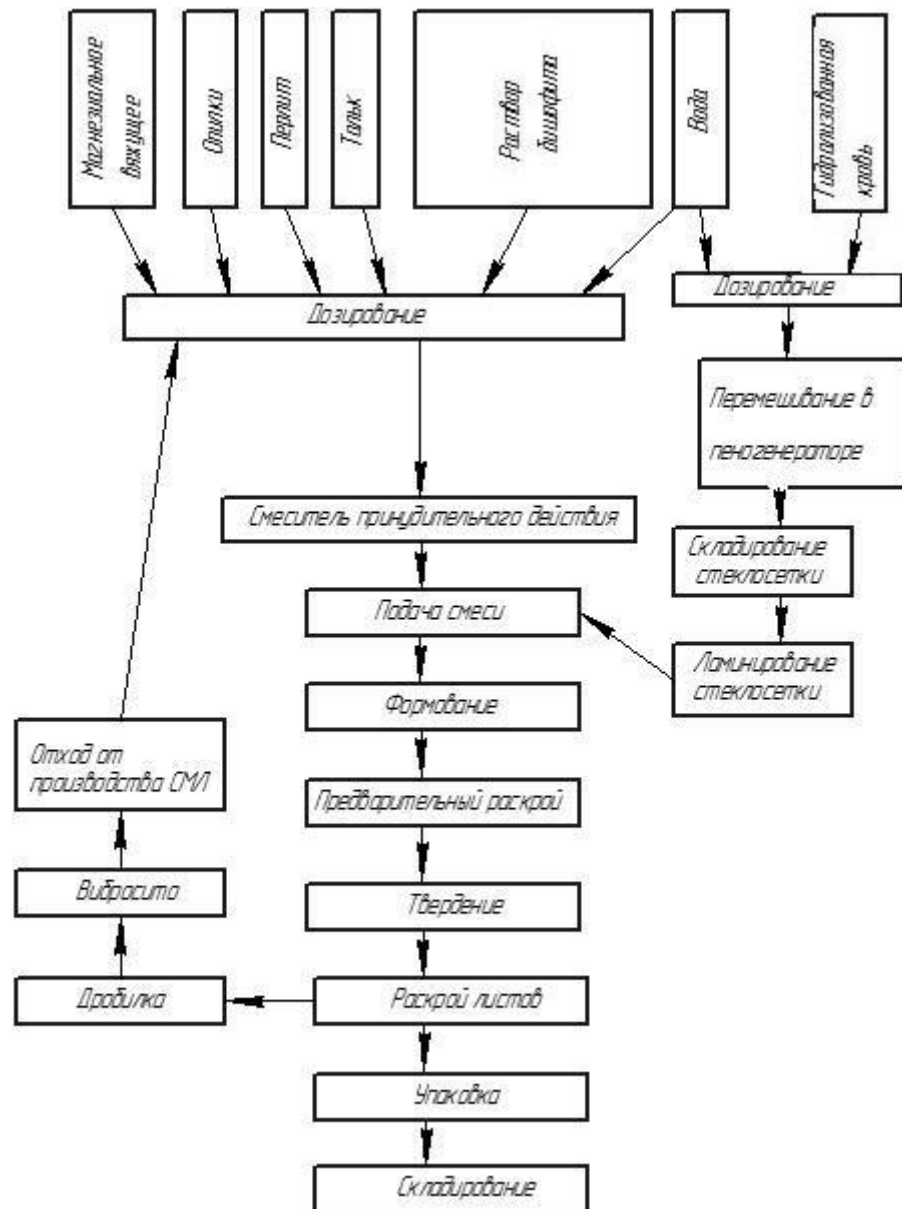


Рисунок 4.1 – Технологическая схема производства СМЛ

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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

Дипломная работа посвящена разработке комплексной добавки для производства стекломагнезиального листа.

Стекломагнезиальный лист (СМЛ) – листовый строительно-отделочный материал, изготовленный на основе магнезиального вяжущего. Основными составляющими данного материала являются: оксид магния (MgO), хлорид магния (MgCl₂, входит в состав бишофита), перлит (SiO₂, вулканическое стекло, в данном материале применяется как звукоизоляционный материал), опилки, вода, стекло-сетка.

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.

5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» при изготовлении стекломагнезиальных 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) [40].

5.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды

5.3.1 Микроклимат

В рабочей зоне производственного помещения микроклимат оказывает большое влияние на здоровье человека, его работоспособность. Самочувствие и работоспособность человека зависят от состояния метеорологических условий производственной среды, которые определяются сочетанием трех основных параметров: температуры, относительной влажности и подвижности воздуха.

Основным источником тепловыделения в лаборатории являются сушильный шкаф.

Действующим нормативным документом, регламентирующим микроклимат производственной среды, является ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [41]. Этим документом уста-

новлены 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 5.1 – 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

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м² при облучении 50 % поверхности тела и более, 70 Вт/м² – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50 % и 100 Вт/м² – при облучении не более 25 % поверхности тела.

Действие метеорологических условий на организм человека связано с процессами терморегулирования, способствующими теплообмену между организмом и внешней средой и независимо от внешней среды поддерживающими постоянную температуру тела человека. Наблюдениями установлено, что человек ощущает комфорт при температуре от 18⁰ до 22⁰ С, относительной влажности воздуха от 40 до 60 % и скорости его движения от 0,1 до 0.2 м/с.

При выполнении физических работ обмен веществ усиливается, увеличивается количество вырабатываемого тепла, изменяется процесс терморегуляции. С повышением температуры тела увеличивается теплоотдача, но если она затрудне-

на, то происходит перегрев тела, происходит снижение работоспособности. Влажность воздуха оказывает влияние на терморегуляцию. При высоких температурах воздуха затрудняет теплоотдачу, приводит к перегреву. При низких температурах приводит к переохлаждению организма. Предельные значения влажности при температуре воздуха 30 – 31 °С влажность 85 %; при температуре 40 °С влажность должна быть 30 %. Движение воздуха облегчает теплоотдачу путем конвекции только при температуре 36 °С. При температуре свыше 36 °С теплоотдача идет путем испарения, при температуре свыше 40 °С движение воздуха может привести к перегреву [41].

При температуре окружающих поверхностей менее 16 °С в теплообмене человека преобладает теплоотдача, происходит охлаждение организма. При температуре поверхности меньше 25 °С и больше 16 °С – состояние теплового комфорта. При температуре поверхности больше 25 °С – перегрев.

Мероприятия для создания удовлетворительного микроклимата.

Располагающиеся вблизи рабочего места отопление и приточно-вытяжная вентиляция – служат для создания необходимого микроклимата и контролируются нормативным документом СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [49].

5.3.2 Освещение

Освещенность на рабочем месте должна отвечать условиям оптимальной работы зрения при заданных размерах объекта различия. Повышение освещенности ведет к росту производительности труда.

Правильно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация » содержит следующие опасные и вредные факторы, связанные с неудовлетворительным освещением:

- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- прямая и отраженная блескость;

- повышенная пульсация светового потока.

Воздействие этих факторов вызывает преждевременное утомление, притупляет внимание, снижает производительность труда и качество продукции и может оказаться причиной несчастного случая. Длительное воздействие указанных факторов может привести к ухудшению зрения.

Уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать характеру выполнения зрительной работы. С целью обеспечения равномерности распределения яркости на рабочей поверхности на участке используют при естественном освещении комбинированное освещение (верхнее и боковое), при искусственном освещении – общее и местное освещение. Величина освещенности должна быть постоянна во времени. Наибольшая видимость создается при падении световых лучей на рабочую поверхность под углом 60° к ее нормали. Осветительная установка должна быть безвредной и безопасной в процессе эксплуатации [43].

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий» работа в лабораториях высших учебных заведений подчиняется нормируемым показателям естественного и искусственного освещения, которые указаны в таблице 5.2 [44].

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 освещение осуществляется через световые проемы в стенах здания (боковое освещение), также применяют комбинированное освещение. Искусственное освещение необходимо в местах со слабой освещенностью. Недостаточность естественного освещения ликвидируется хорошим искусственным освещением, представленным 16 блоками люминисцентных ламп (каждый блок содержит по 4 небольшие лампы). Работа по разработке комплексной добавки для производства СМЛ является очень высокой точности (Наименьший или эквивалентный размер объекта различения от 0,15 до 0,30 мм), и имеет II разряд зрительной работы, подразряд зрительной работы «в».

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 $\geq 0,5$ % [44].

5.3.3 Вибрация

В лаборатории используются машины и оборудование, создающие вибрацию, которая может передаваться на рабочие места и оказывать вредное воздействие на человека.

Основными источниками вибрации являются вибростол, виброисстиратель.

При работе машин и механизмов низкочастотные вибрации и шумы вызываются инерционными силами, силами трения, периодическими рабочими нагрузками. Высокочастотные вибрации и шумы возникают в результате ударов из-за наличия зазоров в соединениях механизмов, ударов в зубчатых и цепных передачах, соударения в подшипниках качения.

При повышенной же интенсивности и длительном воздействии развивается профессиональная вибрационная болезнь, изменяется чувствительность кожи рук, наблюдается головокружение. Самое страшное, если частота вибрации совпадает

с частотой вибрации тела, в этом случае проявляются очень сильные функциональные изменения в здоровье человека.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует СН – 2.2. 4/2.1.8. 556 – 96 «Производственные вибрации» [45].

К нормируемым параметрам вибрации относятся скорость и ускорение колебаний, возникающих при работе оборудования и передаваемых на сиденье, рабочую площадку в зоне рабочего места. Вибрацию подразделяют на общую и локальную. В лаборатории существует общая вибрация. Оборудование, которое может вызывать локальную вибрацию, нет. Лаборатории – это рабочие места 3-е категории технологического типа «в». 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 [45].

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 ²		дБ		м/с 10 ⁻²		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
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	

Меры защиты от вибрации: технические, организационные, санитарно-гигиенические и лечебно-профилактические.

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.

Для снижения уровня вибрации можно применять индивидуальные средства защиты (специальные ботинки на подошве из микропористой резины толщиной до 40 мм) и конструктивные меры защиты. Для предотвращения распространения вибрации на основание и фундамент вибрирующий орган подвешивается на пружинные амортизаторы.

Виброплощадка изолируется от пола (фундамента) путём установки ее на специальные пружинные амортизаторы колебаний. Фундамент выполнен в виде сплошного бетонного массива. Так как виброплощадка очень мала (учебная) и продолжительность работы с ней весьма невелика, поэтому вредное воздействие оказываемое ей на человека отсутствует.

5.3.4 Шум

Шум возникает в результате работы производственного оборудования. Механический шум возникает в результате движения элементов с переменным ускорением, соударение деталей, трение. По мере износа оборудования уровень шума возрастает.

Шум неблагоприятно воздействует на человека. Продолжительное действие сильного шума на организм вызывает общее утомление, повышение кровяного давления, снижение остроты слуха, ослабление внимания, некоторого нарушения координации движения и снижение работоспособности. Постоянное воздействие шума приводит к бессоннице, раздражительности.

Основой нормирования шума является ограничение звуковой энергии, воздействующей на человека в течение рабочей смены, значениями, безопасными для его здоровья и работоспособности. Нормирование учитывает различие биологической опасности шума в зависимости от спектрального состава и временных

характеристик и производится в соответствии с 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» [46].

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 борьбы с механическим шумом используют смазочные и прокладочные материалы. Коллективным методом защиты от шума являются звукопоглощающие облицовки, перегородки, кожухи; индивидуальным методом защиты являются вкладыши, наушники (если уровень звука составляет 20-40 Дб) [47].

5.4 Запыленность и загазованность рабочей зоны

При производстве вяжущего, а также при измельчении необходимых добавок и заполнителей образуется минеральная пыль. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [48] предельно допустимая концентрация (ПДК) минеральной пыли составляет 6 мг/м^3 . Класс опасности IV, состояние – аэрозоль. Действие на организм человека Ф – аэрозоль фиброгенного действия.

Для предотвращения запыленности воздуха в цехе предусмотрена система естественной вентиляции, которая должна соответствовать требованиям СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [42], а также регулярная уборка пыли с использованием средств механизации и мокрого способа (смыть пыли водой, поддержание полов во влажном состоянии). Оборудование должно быть герметизировано.

В работе используется магнезиальное вяжущее, заполнители и минеральные добавки. Производственная пыль, выделяемая в помещения цеха, имеет высокую удельную поверхность, особенно магнезиальное вяжущее. Пыль способна оседать в легких человека. Она нерастворима, поэтому её удаление организмом затруднено. Воздействие больших количеств минеральной пыли может привести к профессиональным заболеваниям с поражением лёгких. Поэтому все рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания, а также очками.

Также в работе используется хлорид магния (бишофит). Бишофит не токсичен, пожаро- и взрывобезопасен по ГОСТ 7759-73 «Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия» [50]. 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^3 по хлористому магнию.

При работе должны соблюдаться меры личной гигиены: ношение рабочей одежды, мытье рук перед приемом пищи, прием пищи в специальных помещениях.

5.5 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:

- все части виброистирателя должны быть заземлены согласно существующим правилам ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» [51];

- 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.

Для безопасной работы с гидравлическим прессом необходимо соблюдать следующие 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» [52] и ПБ 03-576-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» [53], утвержденным Ростехнадзором [5452].

– 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 [55].

– 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.

– при проведении испытаний запрещается поправлять образец без выключения пускового механизма и полной остановки траверсы.

Для безопасной работы с сушильным агрегатом необходимо соблюдать следующие правила:

– загрузочное окно агрегата должна закрываться плотно прилегающей заслонкой с необходимой теплоизоляцией;

– сушильный шкаф должен иметь такую изоляцию стен и сводов, чтобы температура наружных поверхностей обеспечивалась в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.9-93 «Безопасность электротермического оборудования».

При соблюдении всех требований приведенных выше обеспечивается безопасность условий труда.

5.6 Электробезопасность

В данной работе используются электроустановки напряжением до 380 (В) (гидравлический пресс для определения прочности образцов при сжатии, машина МИИ-100 для проведения испытаний на изгиб), защита от воздействия электричества тока сводится к надежной изоляции токопроводящих проводов и кабелей, установке защитного заземления, установке защитных автоматов-выключателей.

Данное оборудование регулярно проверяется на наличие неисправностей. К работе с ним не допускаются лица, не изучившие описание эксплуатации, и не расписавшиеся в журнале по технике безопасности.

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

Согласно ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» существуют конструктивные меры защиты: зануление, заземление, защитное отключение, применение малых напряжений, контроль изоляции и другие [56].

Зануление устраивают на случай повреждения изоляции и возможности замыкания тока на металлических частях электроустановок с изолированным нулем. По ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» заземление можно производить естественным и искусственным заземлителями.

Для защиты человека от поражения электрическим током применяются следующие меры:

– все электроустановки согласно ГОСТ 12.1.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» заземлены медными проводами сечением не менее 12 (мм²). Заземлитель и заземленный провод присоединен при помощи хомута из меди или латуни, на участке зачищенном от краски [56];

– 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.

Во избежание термических ожогов необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности при работе с электроприборами. Значение ПДУ напряжения прикосновения токов, протекающих через тело человека, при аварийном режиме электроустановок для постоянного и переменного тока устанавливается ГОСТ 12. 1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов» [56].

Таблица 5.6 – ПДУ напряжений прикосновения токов

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t , с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный 50 Гц	U , В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I , мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Постоянный	U , В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	I , мА												15

При использовании электрических приборов нужно соблюдать общие правила техники безопасности: не включать в сеть неисправные приборы; не прикасаться одновременно к электроагрегатам установки к устройствам с естественным заземлением; необходимо отключать приборы на время ремонта.

При оказании первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током, необходимо освободить его от действия тока путём снятия напряжения (отключить электроустановку от электросети) или оторвать его при помощи диэлектрических перчаток. Если пострадавший потерял сознание, но его дыхание сохранилось, то нужно уложить его удобно, обеспечить ему покой, создать приток свежего воздуха, давать нюхать нашатырный спирт, растирать его тело до прибытия врача. При отсутствии признаков жизни (дыхания, сердцебиения, пульса) у пострадавшего, то необходимо срочно делать искусственное дыхание до тех пор, пока пострадавший ни начнет дышать или до прибытия врача.

5.7 Пожаробезопасность

Основными причинами пожаров могут быть неисправность электроустановок, конструктивные недостатки оборудования, несоблюдение мер безопасности [57].

Возможными источником пожара в производственном помещении могут служить неисправное оборудование и легковоспламеняющиеся материалы, используемые в работе.

Обеспечение пожаробезопасности достигается соблюдением необходимых мероприятий и наличием средств пожаротушения. В здании лабораторного корпуса, где проводились исследования, предусмотрены эвакуационные пути, наружные пожарные лестницы, аварийные люки, имеющие устойчивость при пожаре и огнестойкость конструкций не меньше времени, необходимого для спасения людей при пожаре и расчетного времени тушения пожара, а также пожарная сигнализация, система оповещения, пожарные знаки.

При работе с электрооборудованием существует и пожарная опасность, обусловленная, прежде всего высокой температурой в рабочей зоне. Применение электрических приборов, требует от персонала соблюдения правил пожарной безопасности:

- по окончании каждого рабочего дня проводится уборка на рабочем месте;
- весь пожарный инвентарь (ручные средства тушения, внутренние пожарные краны) должны содержаться в исправном состоянии. Огнетушители размещаются на высоте 1,5 м от уровня пола и на расстоянии не менее 1,2 м от края двери при ее открывании. Шкафчики внутренних пожарных кранов закрываются и опечатываются;
- курение разрешено только в специально отведенных местах;
- ежедневно по окончании занятий ответственный должен проверить и устранить противопожарные недочеты. Во всех помещениях, которые по окончании работы закрываются и не контролируются, все переключатели и рубильники выключаются [58].

Помещение по пожароопасности относится к категории Д.

В помещении лаборатории находится противопожарный инвентарь: огнетушитель пенный (ОХП – 15); огнетушитель углекислотный (ОУ – 10); щит с ручными средствами тушения; пожарный кран [58].

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;

Для обеспечения эвакуации установлены количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов.

Коллективная защита обеспечивается с помощью пожаробезопасных зон и других конструктивных решений. Средства индивидуальной защиты применяются также для пожарных, участвующих в тушении пожара.

На объекте обеспечено своевременное оповещение людей и сигнализации о пожаре в его начальной стадии техническими средствами.

В здании необходимо предусмотреть лестничные клетки, наружные пожарные лестницы, аварийные люки имеющие устойчивость при пожаре и огнестойкость конструкций не меньше времени, необходимого для спасения людей при пожаре и расчетного времени тушения пожара.

5.8 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;
- древесные опилки;
- перлит;
- тальк;
- гидролизованная кровь;
- вода;
- отход от производства СМЛ.

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

Бишофит – это кристаллическая соль, оставшаяся от испарения древнего моря. В ископаемом состоянии бишофит встречается в виде соляной зернисто-кристаллической породы. В чистом виде кристаллы бишофита водянопрозрачные. Установлено, что бишофит содержит в своем составе несколько десятков микроэлементов, концентрация некоторых приближается к промышленно значимой. Бишофит крайне гигроскопичен (способен поглощать влагу и растворяться в воде).

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 % [50].

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.

6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Приведен расчет экономической эффективности применения оптимального состава при производстве стекломagneзиальных листов.

Таблица 6.1 – Исходные данные

Количество рабочих дней	270
Продолжительность смены, ч	8
Производительность в смену, шт	120
Количество смен в сутки	2
Производство в сутки, т	240

Таблица 6.2 – Затраты на оплату труда рабочих

Персонал	Численность, чел	Отчисления на заработную плату в месяц, руб	Отчисления на заработную плату в год, руб
Мастер	2	40 000	480 000
Рабочие	10	180 000	2 160 000
Внебюджетные фонды	34 %		897 600
Итого			3 537 600

Таблица 6.3 – Расчет затрат на сырьевые материалы для СМЛ 2500×1200×10.

Наименование	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Прямые затраты:			
Материалы:			
Магнезиальное вяжущее	12,5 кг	2,69 руб/кг	33,6
Бишофит (MgCl ₂ · 6H ₂ O)	8,2 кг	5,5 руб/кг	45,1
Опилки	2,4 кг	0,4 руб/кг	0,96
Отход	4,0	0 руб/кг	0
Тальк	1,7 кг	20 руб/кг	34
Перлит	0,85 кг	26,7 руб/кг	22,7
Стеклосетка	6 м ²	8,8 руб/м ²	52,8
Вода техническая	6,1 л	0,1 руб/л	0,61
ИТОГО			189,77

Таблица 6.4 – Затраты на оборудование и амортизацию

Электроэнергия оборудования для производства СМЛ	Цена, млн. руб	Количество, шт	Стоимость, млн. руб	Амортизация	
				% в год	тыс. руб. в год
Линия по производству стекломагнезиального листа "СМЛ-01"	1,2	1	1,2	10	120
Станок для обрезки стекломагнезиального листа "СМЛ-02"	0,48	1	0,48	10	48
Дробилка отходов "СМЛ-03"	0,4	1	0,4	10	40
Вибросито "СМЛ-04"	0,102	1	0,102	10	10,2
Дозатор "СМЛ-05"	0,1	5	0,5	20	10
Смеситель "СМЛ-09"	0,15	1	0,15	10	15
Дозатор раствора бишофита и комплексной добавки "СМЛ-10"	0,2	3	0,6	20	120
Кассета для выгрузки листов "СМЛ-12"	0,7	1	0,7	10	70
ИТОГО			4,132		433,2

Таблица 6.5 – Потребление электроэнергии при производстве СМЛ

Электроэнергия оборудования для производства СМЛ	Мощность, кВт	Количество, шт	Общее	В смену, ч	кВт.ч	руб.
Линия по производству стекломагнезиального листа "СМЛ-01"	200	1	200	8	1600	2672
Станок для обрезки стекломагнезиального листа "СМЛ-02"	5,5	1	5,5	7	38,5	64,3
Дробилка отходов "СМЛ-03"	200	1	200	7	1400	2338
Вибросито "СМЛ-04"	0,5	1	0,5	7	3,5	5,85
Дозатор "СМЛ-05"	0,2	5	0,2	8	1,6	2,7
Смеситель "СМЛ-09"	0,2	1	0,2	8	1,6	2,7
Электроэнергия оборудования для производства СМЛ	Мощность, кВт	Количество, шт	Общее	В смену, ч	кВт.ч	руб.
Дозатор раствора бишофита "СМЛ-10"	2,2	3	2,2	7	15,4	25,7
Кассета для выгрузки листов "СМЛ-12"	10	1	10	7	70	116,9
ИТОГО, электроэнергия в смену					3130,6	5228,1

Таблица 6.6 – Расчет себестоимости СМЛ

Вид затрат	Затраты, в руб.		
	в год	в сутки	на 1 шт
Сырье	12 297 096	45544	189,77
Электроэнергия	2 823 174	10456,2	43,6
Оплата труда	3 537 600	13102,2	54,6
Отчисления на амортизацию ОПФ	433 200	1604,4	6,7
ИТОГО	19 091 070	188706,8	294,67

Итоговая себестоимость будет равна 294,67 рубля.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлено, что магниезиальные материалы являются востребованными в сфере стройиндустрии.
2. На основе литературных данных были выявлены основные характеристики СМЛ и области его применения.
3. Установлено, что повышенные деформации магниезиального камня снижает эксплуатационные характеристики материалов на его основе, в том числе СМЛ.
4. Выявлено, что не все факторы, влияющие на свойства и фазовый состав магниезиального камня в полной мере изучены.
5. Выявлено, что изменение плотности и количества затворителя значительно влияет на прочность и линейные деформации магниезиального камня, при этом, наибольшие деформации, у исследуемого материала, возникают при использовании затворителя плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$, в количестве, соответствующем нормальной густоте вяжущего.
6. Установлено, что при повышении количества раствора бишофита, вне зависимости от его плотности, наблюдается увеличение содержания гидроксида магния. Количество пентагидрооксихлорида почти не изменяется.
7. Доказано, что при увеличении плотности затворителя, формируется магниезиальный камень содержащий тригидрооксихлорид магния, который склонен к перекристаллизации в пентагидрооксихлорид в поздние сроки твердения;
8. Выявлено, варьированием факторов эксперимента возможно нивелировать неравномерность изменения объема из-за присутствия в магниезиальном вяжущем недожога оксида магния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование взаимосвязи объемных деформаций, состава и структурных характеристик магнезиальных вяжущих / Г.Ф. Аверина, Т.Н. Черных, А.А. Орлов, Л.Я. Крамар // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 40–47. DOI: 10.14529/build170306
2. Крамар Л.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А., Трофимов Б.Я. Магнезиальные вяжущие из природного сырья. – Челябинск: «Искра-Профи». 2012. – 146 с.
3. Ваганов, А.П. Ксилолит. Производство и применение / А.П. Ваганов – М.: Госиздат, 1959. – 144 с.
4. Вайвад, А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества. / А.Я. Вайвад – Рига, Наука, 1971. – 315 с.
5. Гончаров, Б.П. Магнезиальные строительные материалы. / Б.П. Гончаров. – М.-Л.: Госстройиздат, 1933. – 213 с.
6. Запорожец, М.А. Ксилолит на каустическом доломите. / М.А. Запорожец // Строительные материалы. 1937. – №2. – С. 51-55.
7. Крамар, Л.Я. Теоретические основы и технология магнезиальных вяжущих и материалов./ Л.Я. Крамар // Автореферат на соискание уч. степени док. техн. наук. – Челябинск, 2007. – 42 с.
8. Черных Т.Н. Свойства магнезиального вяжущего из бруситовой породы и их взаимосвязь с размерами кристаллов периклаза / Т.Н. Черных, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы. – 2006. - № 1. – С. 52-53.
9. Вайвад, А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества. / А.Я. Вайвад – Рига, Наука, 1971. – 315 с.
10. Зуев В.В., Поцелуева Л.Н., Гончарова Ю.Д. Кристаллоэнергетика как основа свойств твердотельных материалов (включая магнезиальные цементы). – СанктПетербург, 2006. – 139 с.
11. Хорошавин, Л.Б. Магнезиальные огнеупоры: Справ, изд. / Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В.А. Кононов. – М: Интермет Инжиниринг, 2001. – 576 с.

12. ТУ 5744-001-60779432-2009 «Магнезиальное вяжущее строительного назначения. Технические условия» – Нижний Тагил: ООО «Тагильский огнеупорный завод», 2009. – 7 с.
13. Крамар, Л.Я. О требованиях стандарта к магнезиальному вяжущему строительного назначения / Л.Я. Крамар // Строительные материалы, 2006. – №1. – С.54-56.
14. ТУ 5742-001-91330559-2012 «Листы ECOLIST для наружной и внутренней отделки. Технические условия». – Челябинск: 2012. – 14 с.
15. DIN 273-2:1963-07 Ausgangsstoffe für Magnesiaestriche (Estriche aus Magnesiamörtel). – 2000. – 24 pages.
16. EN 14016–2004 Binders for magnesite screeds. Caustic magnesia and magnesium chloride. BSI. – 2004. – 20 pages.
17. ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые. Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1987. – 11 с.
18. ТУ 5744-001-60779432-2009 «Магнезиальное вяжущее строительного назначения. Технические условия» – Нижний Тагил: ООО «Тагильский огнеупорный завод», 2009. – 7 с.
19. Крамар, Л.Я. Обжиг бруситовой породы для получения магнезиального вяжущего строительного назначения / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных. Популярное бетоноведение, 2009. – №5. – С.47–53.
20. Крамар, Л.Я. Теоретические основы и технология магнезиальных вяжущих и материалов./ Л.Я. Крамар. Автореферат на соискание уч. степени док. техн. наук. – Челябинск, 2007. – 42 с.
21. Хорошавин, Л.Б. Рынок магнезиального сырья / Л.Б. Хорошавин, В.А. Кононов. – М.: Огнеупоры и техническая керамика, 1993. – № 11 – С. 18-23.
22. ГОСТ 7759-73 «Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1973. – 16 с.
23. ГОСТ 21234-75 «Тальк молотый для керамической промышленности. Технические Условия» - М.: Издательство стандартов, 1977. – 6 с.

24. ГОСТ 25226-96 «Щебень и песок перлитовые для производства вспученного перлита. Технические условия» - М.: НИИСМИ, 1997. – 26 с.
25. ГОСТ 10832-2009 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия для производства вспученного перлита». – М.: Стандартинформ, 2011. – 19 с.
26. ГОСТ 24211-91 "Добавки для бетонов. Общие технические требования" – М.: Издательство стандартов, 1992.
27. СП 31-111-2004 «Применение стеклянных сеток и армирующих лент при строительстве зданий». – М.: Госстрой России, ФГУ П ЦНС, 2005. – 54 с.
28. ГОСТ 24544-81 «Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести».
29. DIN 52450:1985-08 Prüfung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe; Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekörpern.
30. Крамар Л.Я. Теоретические основы и технология магниезиальных вяжущих и материалов: диссертация доктора технических наук / Л.Я. Крамар. – Челябинск, 2007 – 335 с.
31. Tooper B.,Cartz L. Structure and formation of magnesium oxychloride so-rel cement. Nature (London), 1966 – Vol. 211, – p5044-6466.
32. Demeduk T, Gole W.F., Hueber H.V. / Australian J. Ch. – 1995.-V8,-N2.S. 215-219.
33. Feitknecht W. Die festen Hydroxysalze zweifertiger Metalle / Fortschr. Cem. Forsch., 1953, - No2.C.670-685.
34. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев – М.: Высш.школа, 1981. – 335 с.
35. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. – М.: Металлургия, 1968. – 155 с.
36. Винарский, М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Техника, 1975. – 168 с.

37. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / А.Я. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
38. ТУ 5745-004-70828456-2005 «Магнезиальное вяжущее» – Челябинск, 2005.
39. СП 31-111-2004 «Применение стеклянных сеток и армирующих лент при строительстве зданий». – М.: Госстрой России, ФГУ П ЦНС, 2005. – 54 с.
40. ГОСТ 12.0.003 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». – М.: Издательство стандартов, 1983. – 27 с.
41. ГОСТ 12.1.005 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». – М.: Издательство стандартов, 2005. – 17 с.
42. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3)». – М: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.
43. ГОСТ 12.010-76 «Организация работы по охране труда и обучение работников безопасности труда». – М.: Издательство стандартов, 1976. – 13 с.
44. 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.
45. СН № 2.2.4/2.1.8.556-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». –М.: Минздрав России, 1996. – 25 с.
46. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности». – М.: Издательство стандартов, 1983. – 10 с.
47. ГОСТ 12.4.011 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация». – М.: Издательство стандартов, 1984. – 7 с.
48. ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”
49. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3)». – М: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.
50. ГОСТ 7759-73 «Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия». – М.: Издательство стандартов, 1973. – 16 с.

51. ГОСТ 12.1.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» – М.: Издательство стандартов, 1981. – 7 с
52. ПБ 10-573-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды»
53. ПБ 03-576-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением»
54. ГОСТ 12.2.017 "Оборудование кузнечно-прессовое". М.: Издательство стандартов, 1982. – 6 с.
55. ГОСТ 12.2.117. "Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические". – М.: Издательство стандартов, 1981. – 4 с.
56. ГОСТ 12.1.019 ССБТ – 1.01. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты». – М.: Издательство стандартов, 1897. – 4 с.
57. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования». – М.: Издательство стандартов, 1985. – 23 с.
58. ГОСТ 12.4.009-83 ССБТ «Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды, размещение и обслуживание». – М.: Издательство стандартов, 1983. – 8 с.
59. Зырянова, В.Н. Создание водостойкого магнезиального вяжущего на основе MgO и золошлаковых отходов ТЭС / В.Н. Зырянова, М.А. Савинкина, А.Т. Логвиненко. Электрические станции. – 1992. – № 12. – С. 11-13.
60. Козлова, В.К. Применение низкообжиговых магнезиальных вяжущих при получении теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов / В.К.Козлова, И.Г. Сутула, Е.Н.Гущина, А.М. Маноха. Ползуновский вестник. – №3 – 2008 – С. 232-235.
61. Сутула, И.Г. Смешанные магнезиальные вяжущие из низкообжигового брусита и материалы на их основе / И.Г. Сутула. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Барнаул, 2008 – 18 с.