

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

ВКР ПРОВЕРЕНА
Рецензент

/И.О. Фамилия/
« » 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

/А.А. Орлов/
« » 2019 г.

**Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе
08.03.01.2019.00.00.ПЗ
Разработка магниезольного пенобетона на доломитовом вяжущем.**

Руководитель ВКР

/Л.Я. Крамар /
« » 2019 г.

Автор ВКР
Студент группы АС –

/А.А. Доколин /
« » 2019 г.

Нормоконтролёр

/А.А. Курсанова/
« » 2019 г.

Челябинск
2019

АННОТАЦИЯ

Доколин Артём Анатольевич, «Разработка магнезиального пенобетона на доломитовом вяжущем», пояснительная записка к выпускной квалификационной работе. – Челябинск: ЮУрГУ, АС; 2019, 83 с., 20 рисунков, 19 таблиц, библиографический список – 59 наименований, 9 листов формата А1.

В данной работе рассмотрен вопрос по разработке магнезиального пенобетона на доломитовом вяжущем, изучены его свойства и характеристики.

Выпускная квалификационная работа состоит из 5 разделов и библиографического списка. В первом разделе обоснована актуальность выбранной темы и исследована имеющаяся литература на заданную тему. Во втором разделе описаны методы испытания материалов, а также сами материалы. В исследовательской части представлено описание свойств и получения магнезиального пенобетона на доломитовом вяжущем. Также описана техника безопасности при работе и экологическая составляющая. В пятом разделе доказана экономическая эффективность производства полученного пенобетона.

					08.03.01.2019.043.00.00.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Зав.каф</i>	Орлов				Разработка магнезиального пенобетона на доломитовом вяжущем	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Н. Контр.</i>	Кирсанова						4	83
<i>Руковод.</i>	Крамар					ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «Строительные материалы и изделия»		
<i>Консульт.</i>	Крамар							
<i>Разраб</i>	Доколин							

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	9
1.1 Актуальность темы исследования.....	9
1.2 Общие сведения о ячеистых бетонах.....	11
1.2.1 Газобетон.....	11
1.2.2 Газопенобетон.....	13
1.2.3 Крупнопористый (безпесчаный) бетон	13
1.2.4 Пенобетон.....	14
1.3 Пенобетоны	15
1.3.1 Общие сведения о пенобетонах	15
1.3.2 Сырьевые материалы	16
1.3.2.1 Заполнители.....	16
1.3.2.2 Вяжущие	18
1.3.2.3 Затворители	21
1.3.2.4 Пенообразователи	23
1.3.3 Основные виды технологических линий по производству пенобетона ..	27
1.3.3.1 Классический способ.....	27
1.3.3.2 Способ сухой минерализации пены.....	29
1.3.3.3 Баротехнология	30
1.3.3.4 Способ аэрации	30
1.3.3.5 Турбулентно-кавитационный способ	31
1.3.3.6 Способ обжатия-релаксации.....	32
1.3.4 Способы твердения пенобетонов и изделий на их основе.....	33
1.3.4.1 Автоклавный способ.....	33
1.3.4.2 Неавтоклавный способ	35
1.3.5 Стабилизация поризованной смеси кристаллическими затравками.....	36
1.3.6 Область применения	39

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ	40
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	41
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	42
2.1 Физико-механические методы исследований.....	42
2.1.1 Плотность пены	42
2.1.2 Стабильность пены.....	42
2.1.3 Прочность ячеистого бетона на сжатие	43
2.1.4 Определение равновесной влажности.....	44
2.1.5 Средняя плотность ячеистого бетона.....	44
2.1.6 Сорбционная влажность ячеистого бетона.....	44
2.1.7 Паропроницаемость	46
2.2 Материалы исследования.....	48
2.2.1 Вяжущее	48
2.2.2 Хлорид магния шестиводный	48
2.2.3 Оксид магния	49
2.2.4 Перлит.....	50
2.2.5 Белковый пенообразователь.....	50
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	51
3.1 Разработка составов пенобетона, модифицированного кристаллизационными затравками	51
3.2 Исследование свойств оптимального состава разработанного пенобетона..	53
3.3 Обработка результатов.....	54
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЭКОЛОГИЯ.....	56
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	56
4.2 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды.....	57
4.2.1 Микроклимат рабочей зоны	57
4.2.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны.....	59
4.2.3 Освещение рабочей зоны.....	60
4.2.4 Шум на рабочем месте.....	61

4.2.5 Вибрация на рабочем месте.....	62
4.3 Безопасность производственных процессов и оборудования.....	65
4.4 Электробезопасность.....	67
4.5 Пожаробезопасность	69
4.6 Экология	70
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	73
ВЫВОДЫ.....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	79

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день рыночный сегмент строительных материалов представлен значительной номенклатурой изделий из ячеистого бетона на основе цементных и цементно-известковых вяжущих. Технологические схемы производства данных видов продукции включают обязательную тепловую обработку в среде повышенного давления. Необходимость проведения такого вида обработки обоснована медленным набором прочности цементным и цементно-известковым вяжущим в естественных условиях. Из-за длительного пребывания в гелеобразном состоянии поризованная смесь дает значительные усадки в процессе твердения. Затраты на автоклавную обработку весомо влияют на себестоимость готового изделия. Обеспечение длительного высокотемпературного режима с дополнительным нагнетанием избыточного давления является энергоемким процессом.

Магнезиальное вяжущее является вяжущим воздушного твердения, оно быстро набирает высокую прочность в нормальных условиях. Следовательно, изделия, получаемые на его основе, также не требуют дополнительной тепловлажностной обработки в среде высокого давления.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Актуальность темы исследования

На данный момент рынок строительства переживает подъем по сравнению с периодом 2016 – 2017 года. Это значит, что страна всё больше будет нуждаться в получении более энергоэффективных, экологичных и, что самое главное, доступных строительных материалов.

Разработка технологии ресурсосберегающего магниального ячеистого бетона – это комплексное решение ряда вышеуказанных задач. В первую очередь магниальные ячеистые бетоны – двухфакторный метод экономии энергии, полученной из любого типа источников.

Первый фактор представляет собой высокую энерго-эффективность производства данного продукта. Во-первых, в качестве основного вида сырьевого материала используются магниальные вяжущие получают методом низкотемпературного обжига (при температурах до 800 °С). То есть при производстве сырьевых материалов потребляется меньшее количество топлива по сравнению с технологией производства альтернативных видов сырья - портландцемента, получаемого при температурах 1450 °С и керамики, получаемой при температурах порядка 1200 °С. Во-вторых, в технологической схеме производства ячеистого бетона на основе магниального вяжущего отсутствует автоклавная обработка. Автоклав представляет собой аппарат для нагрева под давлением выше атмосферного для ускорения реакций гидратации и увеличения выхода ячеистого бетона, изготавливаемого на основе известково-цементных смесей. Изделия на основе магниальных вяжущих обретают проектные качества в нормальных условиях и в значительно более короткие сроки, благодаря специфике сырьевых материалов.

Второй фактор связан с энерго-эффективностью непосредственно разрабатываемого материала. Магниальный ячеистый бетон относится к теплоизоляционным и теплоизоляционно-конструкционным материалам. Теплоизоляционные материалы имеют низкий коэффициент теплопроводности.

Это значит, что при меньшей толщине слоя, стена из ячеистого магниезиального бетона будет дольше сохранять тепло внутри помещения чем, например, стандартная кирпичная кладка.

Использование стандартных конструкционных материалов (железобетон, металлоконструкции, стеновая керамика) для возведения зданий и сооружений подразумевает монтаж дополнительной теплоизоляции. Таким образом, внедрение больших объемов данного инновационного продукта на отечественном рынке строительных материалов позволит возводить здания и сооружения с надлежащей теплоизоляцией при минимальной трудо- и материалоемкости. Таким образом, на отопление помещений в зимний период года будет уходить меньший объем энергоресурсов. Применение материалов такого типа для возведения зданий и сооружений особенно актуально для нашей страны, 70 % территорий которой приравнено к районам с климатическими условиями Крайнего Севера.

Использование магниезиального вяжущего, производимого из мало востребованных и широко распространённых доломитовых пород, в качестве основного компонента для ячеистых бетонов является одним из возможных способов удешевления производства. Также полученные материалы обладают высокой технологичностью, беспыльностью, быстрым набором прочности без тепловой обработки, а также другими характеристиками. Производство таких материалов является экономически обоснованным и энергоэффективным, ведь температура получения вяжущего составляет порядка 600 – 650 °С, что значительно ниже температуры, необходимой для получения портландцемента клинкера, которая достигает 1400 – 1500 °С. Использование некондиционного доломита при производстве пенобетона позволяет достичь хорошего экологического эффекта.

Таким образом, разработка магниезиального пенобетона не только имеет актуальность, но и решает проблему более широкой доступности в ценовом сегменте ячеистых строительных материалов, а также способна решить вопрос с ликвидацией невостребованных доломитовых отвалов.

1.2 Общие сведения о ячеистых бетонах

Бетон – искусственный каменный материал, получаемый в процессе набора прочности бетонной смеси, которая включает в свой состав дозированные в определённом соотношении компоненты. Компоненты могут быть: вяжущими веществами, крупными и мелкими заполнителями, наполнителями, водой и модифицирующими добавками. Бетоны, по своей средней плотности делятся на особо тяжёлые с плотностью более 2500 кг/м³; тяжёлые с плотностью 1800 – 2500 кг/м³, лёгкие и особо лёгкие с плотностью менее 1800 кг/м³.

Лёгкие бетоны используются в ограждающих конструкциях, а также для снижения массы несущих конструкций. Преимущества изделий и конструкций из данных бетонов заключаются в их хороших звуко и теплоизоляционных характеристиках, огнестойкости, устойчивости к образованию плесени и грибка, экологичности и невысокой стоимости.

Один из способов получения лёгких бетонов связан с применением естественных и искусственных пористых заполнителей, таких как керамзит, вспученный шлак, пемза, аглопорит, туф и других, вместо обычных. Другой способ заключается в исключении мелкого заполнителя и использовании только крупного, что позволяет получить поры не только в самом заполнителе, но и между частицами смеси.

Так же возможно получение ячеистого бетона путём создания пор механическим или химическим путём, т.е. пенобетона или газобетона.

1.2.1 Газобетон

Газобетон, чаще всего, изготавливают из смеси вяжущего, заполнителя и газообразователя. Газообразователи могут различаться по виду протекающих химических реакций. Существуют вступающие в реакцию с продуктами гидратации вяжущего, взаимодействующие между компонентами самих газообразователей, при этом выделяющие газ, а также разлагающиеся. Широкое распространение получила алюминиевая пудра, способная выделять водород в

реакции с гидратом окиси кальция. Автоклавное твердения происходит в среде насыщенного пара при давлении выше атмосферного.

Автоклавный способ дает следующие преимущества:

- повышается производительность;
- минимальность усадки и деформации;
- низкий коэффициент образования трещин;
- большая прочность;
- высокие теплоизоляционные показатели.

Литьевая технология производства заключается в отливке изделий в отдельных формах из текучих смесей. При изготовлении изделий из газобетона все компоненты дозируют, смешивают и заливают в формы на определённую высоту, с учётом того, чтобы после вспучивания смесь заняла форму доверху. Избыток смеси в этом процессе называется горбушкой, её срезают после схватывания проволочными струнами. Для ускорения газообразования используют подогретую до 40 °С воду. Далее необходимо произвести тепловую обработку изделий в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при повышенной температуре. Давление и температура в этом процессе составляет 175 – 200 °С и 0,8 – 1,3 Мпа соответственно.

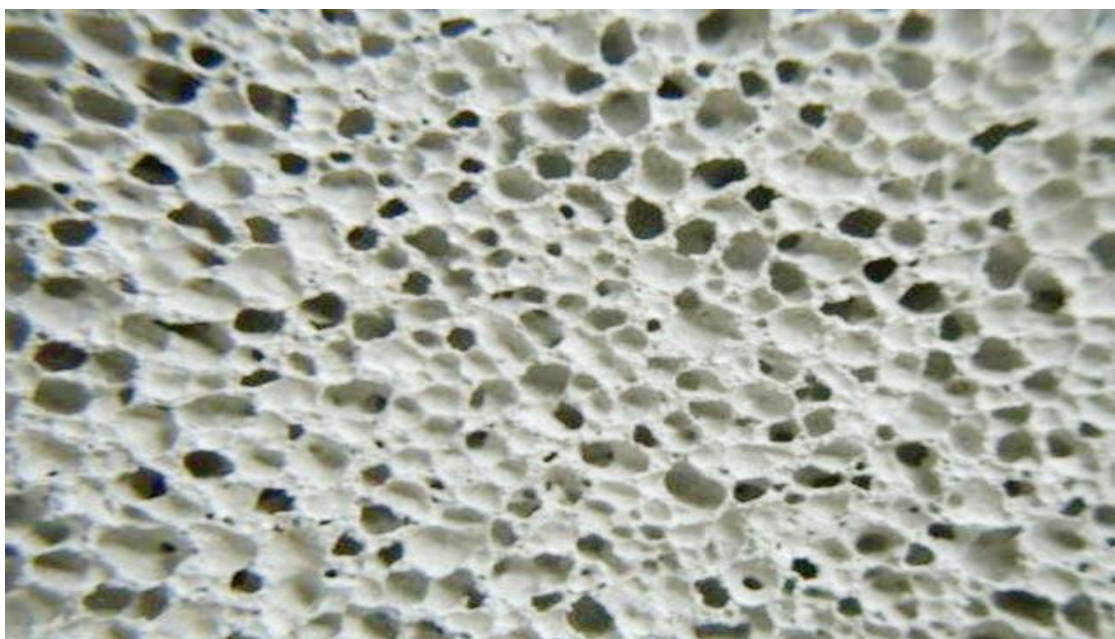


Рисунок 1 – Газобетон

1.2.2 Газопенобетон

В газопенобетонах часть пор создается пенообразующими добавками, а часть газообразующими. При этом соотношение можно регулировать для получения различных свойств изделия, а точнее их регулирования. В смесителе происходит активное перемешивание вяжущего, заполнителя, пенообразователя и газообразователя и воды. При этом процессе пузырьки образуются как за счёт химической реакции газообразователя, так и благодаря воздействию пенообразователя. Для ускорения химической реакции в этом случае может применяться вибрационное воздействие.

1.2.3 Крупнопористый (безпесчаный) бетон

Бетон, полученный только из двух компонентов, а именно вяжущего и крупного тяжёлого или лёгкого заполнителя, называется крупнопористым. Его отличительной особенностью стало возможность сократить расход вяжущего, так как нет необходимости полностью связывать все зёрна заполнителя, достаточно лишь скрепить их в точках соприкосновения. При этом крупный заполнитель должен обладать высокой степенью однородности гранулометрического состава заполнителя. Различия в размерах частиц приводят к разности в деформационно-прочностных характеристик в различных местах тела бетона.

Материал имеет достаточные прочностные характеристики что бы выступать в качестве несущих конструкций, и низкую теплопроводность для использования его как теплоизоляционного или конструкционно-теплоизоляционного слоя. В то же время малая величина сорбционной влажности и водопоглощения позволяет использовать данный бетон для помещений с высокой влажностью. Существует и крупнопористый фильтрационный бетон, который преимущественно выполнен на плотном заполнителе.

Данный материал может использоваться в качестве монолитных дренирующих оснований, фильтрующих подпорных стен, сборных фильтрующих элементов.



Рисунок 2 – Беспесчаный бетон

1.2.4 Пенобетон

Пенобетон — разновидность ячеистого бетона, порообразователем в котором является дисперсная система с газовой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой (пенной). Один из самых простых и дешёвых способов их изготовления – минерализация и последующее твердение водо-воздушной пены, которая образовывается путём вспенивания водных растворов пенообразователей.

Данная разновидность ячеистых бетонов является не только экономически, но и энергоэффективной, так как применяемый в их производстве способ порообразования позволяет получать ячеистый композит с самым низким содержанием открытых пор.

1.3 Пенобетоны

1.3.1 Общие сведения о пенобетонах

Для производства ячеистых пенобетонов используются как природные, так и синтетические поверхностно активные вещества, являющиеся эффективными пенообразователями. Твердение пенобетонов может осуществляться как при автоклавной обработке, так и в воздушно-сухих условиях.

Выпускаются пенобетоны конструкционного, конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного назначения с марками по плотности D300 – D1200 и классами по прочности B0,5 – B15.

Метод изготовления пенобетона выбирается исходя из принятой технологии и используемого пенообразователя. В любом случае, в основе лежит получение системы «газ – жидкость – твёрдое вещество». Для изготовления пенобетона применяется различное оборудование – пеногенераторы и баросмесители. Изготовление цементно-песчаной смеси зачастую происходит в смесителях принудительного типа. В этот же резервуар добавляется готовая пена или пенообразователь. После тщательного перемешивания смесь готова к заливке в формы или конструкции с помощью насоса. За счёт отвердевания и схватывания вяжущего материала формируется структура материала.



Рисунок 3 – Пенобетон

1.3.2 Сырьевые материалы

1.3.2.1 Заполнители

Заполнители позволяют снизить расход вяжущего и плотность готовых изделий. В большинстве случаев в качестве заполнителя используется молотый песок. Согласно нормативной документации для изготовления ячеистых бетонов допускается применение в качестве заполнителей зол ТЭЦ, молотого и немолотого доменного гранулированного шлака, молотого основного отвального шлака. Удельная поверхность частиц заполнителя должна составлять не менее 2500 см²/г. Молотый гранулированный доменный шлак должен иметь удельную поверхность не менее 3500 см²/г.

В качестве легких заполнителей допускается применение перлита, вермикулита и пеностекла.

Перлитом называется кислое вулканическое стекло с мелкой структурой, по которой оно раскалывается на мелкие шарики, имеющие иногда жемчужный блеск. Состав такого вспученного перлита:

- SiO₂ 65 – 75 %;
- Al₂O₃ 10 – 15 %;
- Fe₂O₃ 1,5 – 2,5 %;
- CaO 1,5 – 2,5 %;
- MgO 1,5 – 2,0 %.

Перлит вспученный содержит до 3 – 6 % конституционной (связанной) воды. При быстром нагревании содержащаяся в этом перлите вода испаряется, вспучивая породу с увеличением объёма до 10 – 20 раз. Температура вспучивания 850 – 1200 °С. Вспученный перлит имеет объёмную массу 70 – 600 кг/м³, что позволяет использовать его в качестве лёгкого заполнителя в теплоизоляционных изделиях.

Перлит вспученный находит применение прежде всего в строительстве: при изготовлении эффективной штукатурки, кирпича и блоков из искусственного перлитового камня (преимуществами которого являются малый вес и лёгкость

обработки), в качестве звукоизоляционного наполнителя, утеплителя и т.д. Кроме того, вспученный перлит применяют в сельском хозяйстве и не только.

Вермикулит – это природный минерал, образующийся в результате вымывания и выветривания биотитовой слюды. Цвет минерала зависит от количества примесей в его составе и месторождения породы: чаще он золотисто-желтый, но бывает также бронзово-желтым, золотисто-коричневым и даже бурозеленым.

Чтобы добытый вермикулит был пригоден к использованию, его делят на фракции и подвергают тепловой обработке. Во время обжига природный минерал значительно увеличивается в объеме и расслаивается на вытянутые частицы. В итоге получается вермикулит вспученный.

Пеностекло – теплоизоляционный материал, образованный при размягчении и вспенивании силикатных стёкол при температурах около 1000 °С. По мере охлаждения до комнатной температуры у вспененной стекломассы нарастает вязкость и приобретает существенная механическая прочность.

Пеностекло было изобретено советским академиком И. И. Китайгородским в 1930-х годах, и запатентовано в США в начале 1940-х фирмой Corning Glass Work. Изначально предполагалось использование материала за счёт его хороших плавучих свойств, однако позже выяснилось, что пеностекло обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, а также легко подвергается склеиванию и механической обработке.

Первыми изделиями, использующими свойства пеностекла, были бетонные плиты с теплоизоляционной прослойкой из этого материала в Канаде в 1946 г. Поскольку этот опыт оказался крайне удачным, материал за короткий промежуток времени получил широкое распространение в качестве долговечной изоляции кровли, перегородок, стен и полов во всех видах построек.

Широкого распространения в СССР материал не получил из-за высокой себестоимости и отсутствия отработанной технология производства. Однако, к 1970-м годам этот уникальный материал производился на 4-х заводах на территории современной России.

1.3.2.2 Вяжущие

Известь кальциевая

Качество извести и содержание в ней CaO определяет объем и вид синтезирующих гидросиликатов кальция, что определяет различные технические показатели изделий из бетона. Для производства ячеистого бетона применяется известь кальциевая в соответствии с ГОСТ 9179-89 с содержанием активных CaO + MgO не менее 70 %. Содержание пережженного вещества — не более 2 %. Это ограничение связано с тем, что гидратация пережженной извести происходит с увеличением объема и, как следствие, приводит к разрушению межпоровых перегородок, что в свою очередь приводит к снижению прочности, морозостойкости, увеличению гигроскопичности. В извести MgO содержится не более 3 %. В производстве на других заводах, за пределами России, известь применяется с содержанием активного CaO + MgO содержится на 10% больше. В Чехии этот показатель выше на 24 %. Получают известково-кремнеземистое вяжущее путем совместного помола извести-кипелки с кремнеземистыми компонентами.

Цемент

Цемент не должен содержать добавок, которые могут спровоцировать трещины (пепел, глиеж, опока, трепел). Для бетонов, которые подвергаются автоклавированию рекомендуется использовать портландцемент, который имеет сроки схватывания не позднее 1,5 часов, а конец — не позднее 6 часов. Содержание трехкальциевого алюмината не должно превышать 6 %. При производстве ячеистого бетона автоклавного твердения в качестве вяжущего использование одного лишь цемента нерентабельно, а к тому же — вредно. В производстве пенобетона следует использовать цемент ПЦ500, имеющий высокое содержание алита. Начало схватывания данного цемента составляет 15 минут, а конец не более 2 часов.

Шлак доменный гранулированный

Гранулированный шлак — это неметаллический продукт, состоящий в основном из силикатов и алюмосиликатов кальция, который получается вместе с железом в доменной печи в виде расплава и затем быстро охлаждается водой, паром или воздухом. В соответствии с ГОСТ 3476 используют совместно с активаторами твердения или в составе смешанного вяжущего. Оно должно удовлетворять данным требованиям:

- содержание закиси марганца менее 1,5%;
- сульфатной серы – менее 0,1%;
- модуль активности – 0,4;
- модуль основности, не менее 0,9, лучше 1;
- химически связанной воды – не более 15%;
- удельная поверхность – 4500 – 5000 см²/г.

Нефелиновый цемент

Нефелиновый цемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным измельчением нефелинового шлама (побочный продукт глиноземного производства), портландцементного клинкера и гипса. Должен иметь следующие характеристики:

- удельная поверхность – 3000 – 3500 см²/г;
- сроки схватывания: начало – не ранее 30 минут и не позднее 1,5 часов, конец – не позднее 6 часов;
- суммарное содержание щелочей – не более 2 %.

В состав нефелинового цемента входят 80 – 90 % нефелинового шлама, 10 – 20 % извести и 5 % гипсового камня.

Сланцевая зола

Сланцевая зола пылевидного сжигания горючих сланцев должна соответствовать следующим требованиям:

- содержание оксида кальция не менее 35 %;

- не менее 50 % стекловидных и оплавленных частиц;
- содержание серы не более 5 %;
- удельная поверхность золы должна быть – 3000 – 5000 см²/г.

Все вышеуказанные вяжущие при производстве пенобетона неавтоклавным методом имеют растянутые во времени сроки схватывания, вследствие чего происходит постепенная осадка поризованного раствора в уже отформованном изделии. Таким образом происходит излишнее уплотнение монолита, снижаются теплоизоляционные показатели материала. Применение автоклавного метода позволяет ускорить сроки схватывания поризованной смеси, снизив процент усадки изделий, повысив их прочность и сохранив низкую плотность. Данный способ является достаточно энергоемким и требует соблюдения повышенных требований к безопасности труда. Достойной альтернативой автоклавной обработке могут послужить вяжущие, обладающие способностью быстро набирать высокую прочность в нормальных условиях. Большинство таких вяжущих, представленных рынке строительных материалов имеют достаточно высокую стоимость, что сводит экономическую эффективность технологии к нулю.

Однако, ряд последних исследований возможности получения вяжущих на основе низкосортных магнийсодержащих горных пород, показал, что высокопрочное и быстротвердеющее вяжущее можно получать путем недорогостоящей переработки отходов отвалов огнеупорных производств. Доломитовое вяжущее является одним из указанных вяжущих. Исследование возможности его применения в качестве сырья для производства неавтоклавного пенобетона, вероятно, позволит получить материал с улучшенными качественными характеристиками.

Магнезиальное вяжущее

К магнезиальному вяжущему на основе доломитового сырья предъявляются следующие требования.

Тонкость помола должна составлять:

- остаток на сите с ячейкой 0,2 мм - не допускается;
- остаток на сите с ячейкой 0,08 мм - не более 15%.

Сроки схватывания для среднеактивного вяжущего, твердеющего без трещинообразования: начало схватывания должно происходить не ранее 40 минут, а конец схватывания – не позднее 6 часов.

Вяжущее должно показать равномерность изменения объема при испытании образцов-лепешек по ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема» [1].

Прочность камня доломитового вяжущего при твердении на воздухе по результатам испытания образцов-балочек по ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытания» должна составлять:

- при изгибе в 28 суток твердения, не менее – 7 МПа;
- при сжатии – не менее, МПа;
- через 1 сутки твердения – 10 МПа;
- через 3 суток твердения – 30;
- через 28 суток твердения – 40.

В доломитовом вяжущем содержание оксида магния должно быть не менее 20 %. Оксид кальция (СаО) в свободном виде в доломитовом вяжущем считается вредной примесью в связи с тем, что он вызывает значительное изменение объема, появление трещин в затвердевшем камне и его коробление, по нормативам свободного оксида кальция в доломитовом вяжущем ограничивается 3 %. Затворять магнезиальное вяжущее необходимо не водой, а раствором хлорида магния или другими солями.

1.3.2.3 Затворители

Для приготовления бетонных смесей может использоваться питьевая, а также любая вода, имеющая показатель рН не менее 4. Содержание сульфатов и сульфитов в воде не должно превышать 2700 мг/л, а также общее содержание всех солей не должно превышать 5400 мг/л.

Для производства ячеистых бетонов на основе магниезальных вяжущих в качестве затворителей необходимо использовать растворы солей сульфата или хлорида магния. Согласно литературным данным, наибольшей прочности достигают магниезальные композиции с использованием в качестве затворителя водного раствора хлорида магния (бишофита). Плавеный (технический) $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (бишофит), должен отвечать требованиям ГОСТ 7759-73 «Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия» [4]. Согласно этим условиям основные требования к продукту сводятся к следующим характеристикам:

- хлорид магния должен хорошо растворяться в воде, допускается остаток не более 0,5 %;
- содержание хлорида магния ($MgCl_2$) в продукте должно быть ≥ 45 %;
- содержание хлористых солей кальция, калия и натрия ($CaCl_2$, KCl , $NaCl$) не более 2,5 %;
- содержание сернокислых солей магния и кальция не более 2 %;
- допускается присутствие незначительного количества примесей органики и железа;
- содержание солей кальция допускается не более 0,5 %.

Хлорид магния можно получить обработкой каустического магнезита соляной кислотой, а также из рапы (сгущенной испарением морской или озерной воды), из минерала карналлита.

В России располагаются крупные месторождения хлорида магния недалеко от Волгограда на озере Эльтон, а также в Алтайском крае (соленые озера Кулундинской степи – оз. Кучук, оз. Большое и Малое Яровое, оз. Малиновое и др.).

В процессе производства хлорида магния существуют две основные операции, а именно: предварительное и окончательное упаривание. Предварительное упаривание – удаление большой массы посторонних веществ (оксида железа, углекислого кальция, гипса, поваренной соли). Операция упаривания проводится в специальных котлах. Плавеный хлорид магния по

своему химическому составу соответствует формуле: $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Иногда образуется кристаллический хлорид магния, в добавок к плавленому. Для этой цели упаренный и осветленный продукт смешивают с водой (1 г воды на 5 г хлорида магния), при этом образуется кристаллическая рыхлая масса хлорида магния, которую, после остывания и удаления маточного раствора, помещают в тару.

Источником природного карналлита в России является одно из самых крупных месторождений – Соликамское на Урале. Сырой карналлит имеет, примерно, следующий состав в %:

- KCl – 19,3;
- $MgCl_2$ – 24,0;
- H_2O – 29,9;
- $NaCl$ – 24,4;
- нерастворимый остаток – 1,5.

Также может применяться в качестве затворителя, но прочность магниального камня будет ниже, чем при затворении бишофитом.

Получение бишофита из карналлита ($KCl \cdot NaCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) основано на его многостадийной обработке с целью удаления хлоридов калия и натрия. Хлорид магния может быть также изготовлен из соляной кислоты в виде раствора путем введения порошкообразного оксида магния для нейтрализации кислоты. Применяемая на практике концентрация водного раствора хлорида магния, в зависимости от требований к получаемому материалу, соответствует плотности растворов 1,06 – 1,34 г/см³, чаще всего используют для затворения магниального вяжущего водный раствор бишофита с плотностью от 1,20 до 1,26 г/см³.

1.3.2.4 Пенообразователи

Для производства пенобетона используются пенообразователи, которые можно разделить на две большие группы: синтетические и органические (делятся на протеиновые и омыленные жирные кислоты).

Протеиновые

Изготавливают их в основном из животного белка – из отходов скотообоен. Кроме этого: шкуры, рога, копыта, волосы, чешуя, перья и т.д. Отличительные особенности органических пенообразователей:

- густая стойкая пена;
- однородная структура, образованная ячейками одинакового диаметра;
- возможность регулировать плотность пены и, следовательно, пенобетона в широких пределах;
- так как сырье являются органические отходы, то их основной недостаток это – нестабильность состава;
- белковые пенообразователи имеют специфический запах;
- жесткие требования к условиям хранения. Протеиновые пенообразователи должны храниться при определенной температуре, не слишком высокой – обычно не более 30 С°, и не слишком низкой – не менее нуля;
- не могут использоваться на воде с температурой выше 30 градусов. Если вода имеет более высокую температуру, начинаются процессы разложения пенообразователя.

Синтетические

Данный пенообразователь представляет собой смесь анионных поверхностно-активных веществ. Отличительные особенности синтетических пенообразователей:

- пенообразователи изготавливают из однородного крупнотоннажного промышленного сырья, и потому они не изменяют своих свойств от партии к партии;
- синтетические пенообразователи хранятся неограниченно долго в практически любых условиях. Их можно нагревать до 60 градусов, можно замораживать без последствий. Срок хранения не ограничен;

- возможна организация выпуска монолитного пенобетона с использованием горячей воды и синтетического пенообразователя (этого категорически нельзя делать с органическими пенообразователями);
- легко вспениваются, нет необходимости использовать пеногенератор;
- полученная из синтетического пенообразователя пена обладает высокой кратностью, водный раствор пенообразователя легко и быстро взбивается благодаря действию ПАВ;
- синтетические пенообразователи практически не имеют запаха;
- структура пены отличается не равномерностью. Ячейки по всей структуре пены не одинакового размера;
- низкая устойчивость пен. С целью повышения структурной вязкости в состав дисперсионной среды вводят добавки-загустители (КМЦ, жидкое стекло, костный клей), образующие коллоидные растворы;
- замедляет схватывание цементного теста. Из-за высокой кратности отличительной особенностью пены сделанной из синтетического пенообразователя есть то, что ячейки пены (мыльные пузырьки) имеют очень тонкие стенки. Такая пена не способна удерживать большое (достаточное) количество воды, и стремится к саморазрушению.

Использование синтетических пенообразователей требует использования только наиболее качественного цемента, и увеличения его количество на единицу продукции. Не гарантирована оптимальная структура пенобетона.

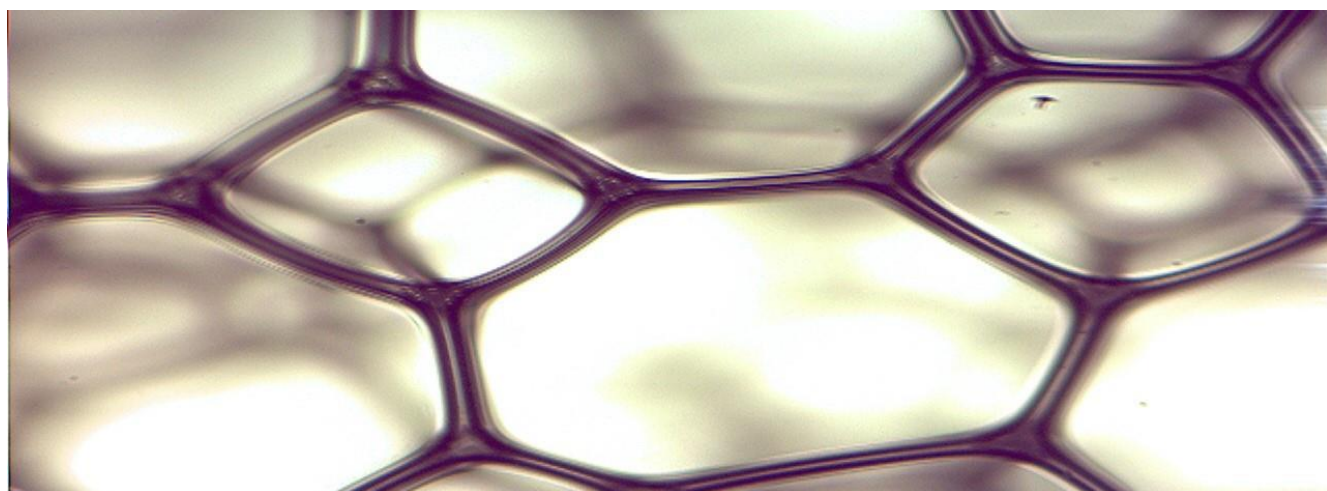


Рисунок 4 – Пена на синтетическом пенообразователе

В ходе предыдущих исследований было установлено, что синтетические пенообразователи неустойчивы и не способны образовывать ячейки, в связи с высокой кратностью пены. Так как вовлекается большое количество воздуха, водные стенки между пузырьками истончаются, что сказывается на сроках жизни пены и на её способности удерживать на себе частицы вяжущего.

Древесно-смольные (СДО)

Пенообразователи на основе древесной омыленной смолы (СДО) являются многокомпонентными, что делает их менее удобными для использования в процессе промышленного производства пенобетонов.

Образцы пенобетона на органическом протеиновом пенообразователе показали наибольшие прочностные характеристики и максимально комфортны для использования в промышленном производстве.

Таким образом, для дальнейших исследований был выбран протеиновый пенообразователь.

Характеристики протеинового пенообразователя.

Таблица 1 – Характеристики протеинового пенообразователя

Наименование показателя	Норма
Внешний вид при (20 – 25)°С	Однородная жидкость темно-коричневого цвета
Плотность при 20°С, кг\м ³	1130 – 1160
Водородный показатель (рН) пенообразователя	6,5 – 8,0

Расход пенообразователя составляет 2 % от количества используемой воды.

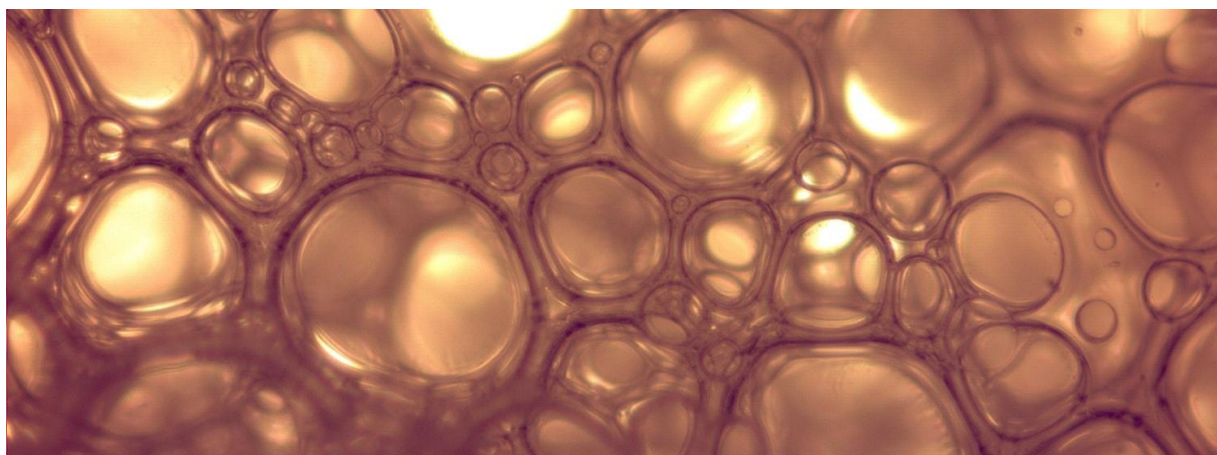


Рисунок 5 – Пена на протеиновом пенообразователе

1.3.3 Основные виды технологических линий по производству пенобетона

1.3.3.1 Классический способ

В классической схеме производства получение бетонной смеси происходит периодически. Пена должна быть средней кратности (20 – 40), с высоким коэффициентом использования по объёму в растворе. Так же пенообразователь должен иметь высокую устойчивость к цементному раствору. Характеристики пены зависят от конструкции пенообразователя и от вида пенообразователя.

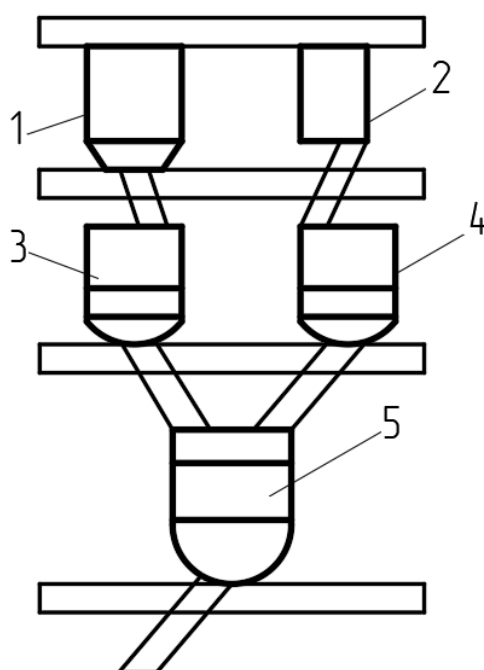


Рисунок 6 – Трёхбарабанный пенобетоносмеситель

1 – дозаторы цемента и песка; 2 – дозатор раствора пенообразователя;
3 – растворомешалка; 4 – пеновзбиватель; 5 – смеситель пенобетонной массы.

В одновальный лопастной смеситель 4, имеющий скорость вращения вала 200 – 250 об/мин, подаётся рабочий раствор из ёмкости 2. Взбивание пены происходит 3 – 6 мин, при этом кратность пены достигает значений 4 – 5. Цикл перемешивания цементно-песчаного раствора занимает 6 мин и происходит в растворомешалке 3, ёмкостью 0,7 м³ и имеющей скорость вращения вала 51 об/мин. Далее полученные пена и раствор самотёком поступают в смеситель 5, имеющий объём 1 м³ и производительность 7,5 м³/ч.

В данной технологии возможно использование только природных пенообразователей. Так же отличительной особенностью является небольшая производительность, высокие энергозатраты и недостаточно высокое качество получаемых изделий.

Плотность пенобетона в данном случае регулируется соотношением пены и раствора, что является сложным в технологическом отношении, ведь пропорции между пеной и раствором меняются в широких границах, так как на устойчивость пены зависит слишком много факторов:

- длительность и скорость перемешивания;
- форма смесительных лопаток;
- реологические характеристики смеси;
- стойкость пены;
- температура и влажность в цехе.

Смешение двух сред, имеющих разные характеристики, плотность, вязкость и подвижность, происходит в процессе перемешивания. Пены, более лёгкие и вязкоупругие, сложно равномерно распределить между вязкопластичным плотным раствором. В этом процессе на тонкие стенки пены происходит механическое воздействие от частиц песка и цемента, а также химическое от щелочной среды цементного камня. Из-за этого большой объём пены гасится ещё до заливки в изделие или конструкцию. Для снижения этого эффекта используют повышенные концентрации ПАВ, что приводит к удорожанию, замедлению сроков схватывания.

Предпочтительно использование пенообразователей из природного сырья, они меньше подвержены влиянию температурно-влажностных условий, крупности песка и минералогическому составу цемента. Эти пенообразователи дают пены с низкой кратностью и высокой вязкостью, что позволяет проводить дозировку пены более точно.

Используя данную технологию, можно производить пенобетоны со средней плотностью 600 – 1200 кг/м³.

1.3.3.2 Способ сухой минерализации пены

Этот способ основан на технологии добавления сухих компонентов в готовую низкократную пену.

В технологии сухой минерализации В основном используется СДО (смола древесная омыленная). Водорастворимые мыла переходят в нерастворимые в оболочке пенного пузырька, в момент совмещения цемента и низкократной пены. Такой пузырёк «бронирован» прилипшими к нему минеральными частичками, а также склеиванием этих частиц мельчайшими новообразованиями кальциевых жирных кислот.

Помол песка и цемента необходим для улучшения качества изделия. Использование шаровой или вибромельницы гомогенизирует смесь, а также активирует её. Этот процесс позволяет раскрыть потенциал вяжущих свойств золы-уноса или доменных шлаков, если они используются. Активация и гомогенизация смеси вяжущего и заполнителя позволяет производить пенобетон с высокой прочностью при использовании малого количества вяжущего или его низком качестве.

Из-за помола шихты данная технология возможна только в заводских, промышленных условиях, а не в полукустарных.

Данную технологию отличают:

- простота и надежность оборудования для получения пеномасс;
- резкое снижение водотвердого отношения и расхода пенообразователя, что ускоряет набор прочности и улучшает физико-механические и эксплуатационные свойства пенобетона;
- возможность работы на различных видах гидравлических и воздушных вяжущих;
- возможность получения пенобетонов без тепловой обработки;
- использование немолотых кремнеземистых компонентов;

– использование в качестве пенообразователя отечественных синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ), имеющих низкую стоимость и производство которых широко налажено в России;

– при одинаковом количестве цемента и песка, пенобетон, полученный методом сухой минерализации, будет крепче пенобетона, полученного обычной технологией.

Однако, недостатками технологии является сложность получения смеси постоянного качества. Также внутрискруктурная подвижность низкократных пен и наличие свободной жидкости не позволяет производить пенобетоны низкой и средней плотности.

1.3.3.3 Баротехнология

При этом способе производства рабочий раствор пенообразователя подают через пеногенератор в смеситель с избыточным давлением. Затем подаётся сухая цементно-песчаная смесь. После перемешивания смеситель используется в качестве пневмокамерного насоса. Пенобетонная смесь подаётся по растворопроводу на расстояние до 300 м и высоту до 30 м.

Эта технология имеет свои недостатки. Например, пеногенератор не успеваает вовлекать раствор пенообразователя в пену, а также загрузка сухих не смешанных минеральных компонентов, что вызывает их неравномерное распределение по раствору.

1.3.3.4 Способ аэрации

Особенностью данной технологии является процесс вспенивания цементно-песчаного раствора и пенообразователя без их предварительной подготовки.

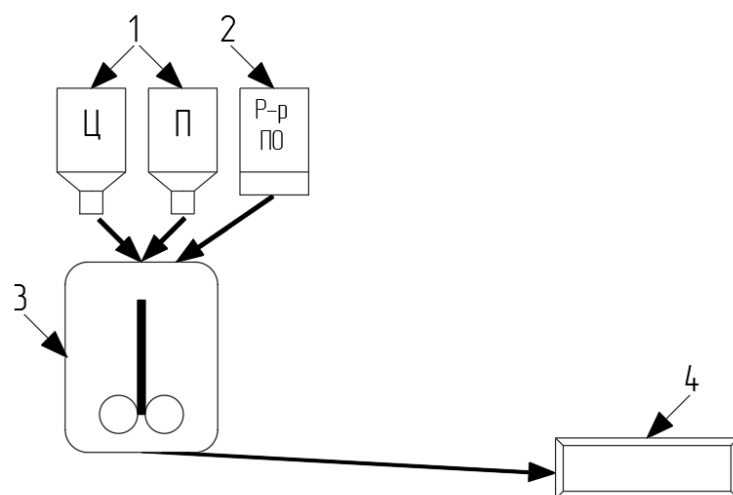


Рисунок 7 – Технологическая схема изготовления пенобетонной смеси способом аэрации

1 – бункера цемента и песка; 2 – ёмкость с рабочим раствором пенообразователя; 3 – высокоскоростной смеситель; 4 – формы.

Процессы поризации и смешивания происходят в одном высокоскоростном смесителе. Поризация смеси происходит за счёт процессов кавитации. Из-за высоких скоростей пенные плёнки претерпевают механическое воздействие и пузырьки принимают овальную форму. После снятия нагрузок ячейки принимают оптимальную форму за счёт процессов самоорганизации.

Плотность пенобетона задаётся соотношениями сухих компонентов, пенообразователя и воды. Из промышленного опыта известно, что по данной технологии невозможно получение пенобетона низкой плотности.

1.3.3.5 Турбулентно-кавитационный способ

Отличием данного способа от предыдущего можно назвать замкнутость смесителя и подачу в него избыточного давления, что позволяет производить пенобетоны низкой плотности. Так же это снижает расход пенообразователя.

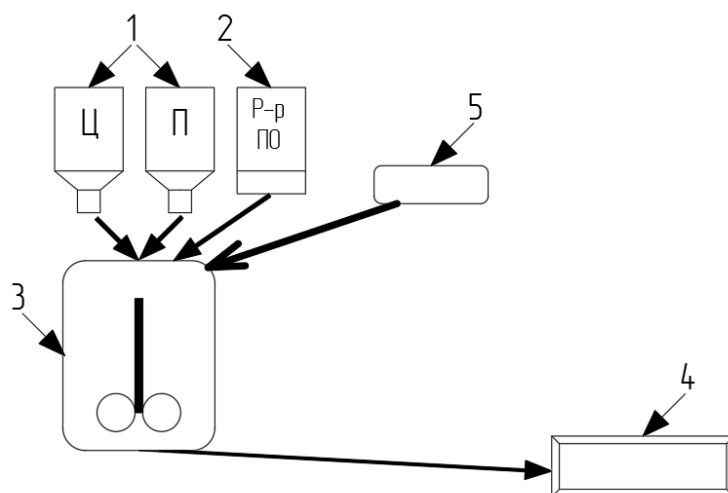


Рисунок 8 – Технологическая схема изготовления пенобетонной смеси способом аэрации при избыточном давлении воздуха (турбобаротехнология)

1 – бункера цемента и песка; 2 – ёмкость с рабочим раствором пенообразователя; 3 – высокоскоростной смеситель; 4 – формы; 5 – компрессор.

1.3.3.6 Способ обжатия-релаксации

В этом способе пенобетонную смесь получают в непрерывном режиме. Получение высокократной пены и её смешивание с цементным раствором происходит в поризаторе высокого давления.

После скоротечного процесса смешивания происходит релаксация пенобетонной смеси, она может происходить и во время транспортировки пеномассы.

Основными преимуществами данного способа является возможность получения непрерывного потока пеномасс, а также получение пенобетона низкой плотности.

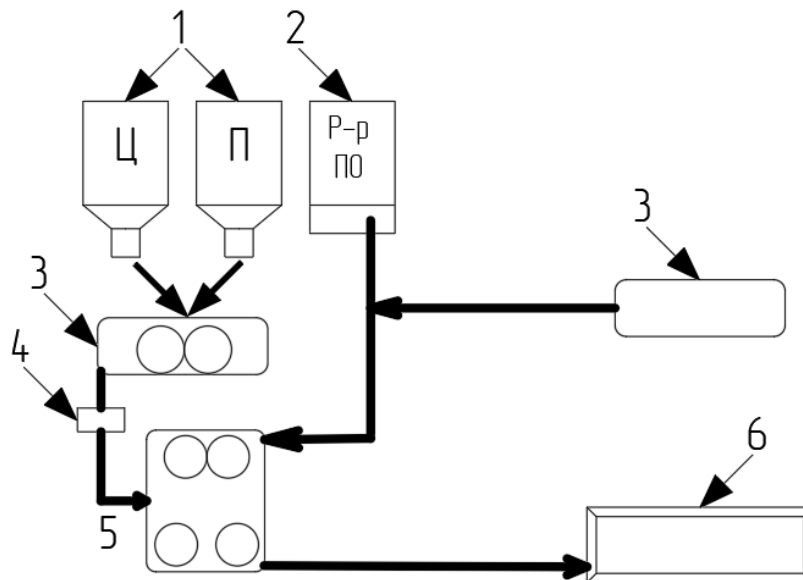


Рисунок 9 – Технологическая схема производства пенобетонной смеси способом «обжатие – релаксация» в непрерывном режиме

1 – бункера цемента и песка; 2 – емкость с рабочим раствором пенообразователя; 3 – смеситель для приготовления цементного раствора; 4 – героторный насос; 5 – поризатор; 6 – компрессор; 7 – формы.

1.3.4 Способы твердения пенобетонов и изделий на их основе

1.3.4.1 Автоклавный способ

Промышленный автоклав – аппарат, изобретённый в 1979 году Чарлем Чамберлендом для проведения самых разных процессов в условиях высокой температуры и под давлением выше атмосферного, что способствует ускорению реакции и увеличению выхода продукта.

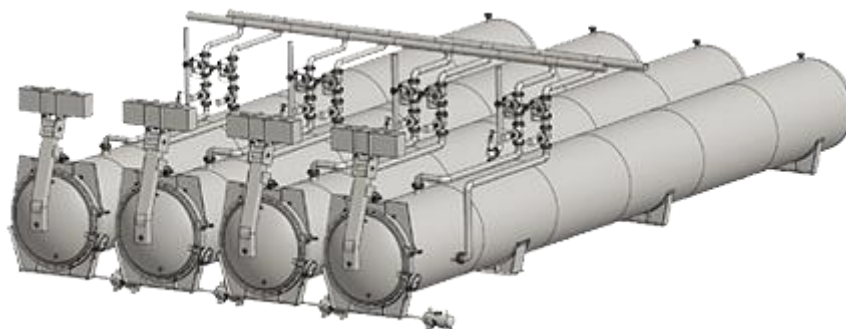


Рисунок 10 – Общий вид автоклава

Любой современный автоклав представляет собой сварной сосуд в форме цилиндра, замкнутый или с открывающейся крышкой. Автоклавы в промышленности применяются при производстве стройматериалов, гербицидов, органических полупродуктов и красителей, для вулканизации технических изделий, стерилизации и пастеризации продуктов питания и стерилизации медицинских инструментов.

Работа с автоклавами выполняется компетентными сотрудниками и регламентируется правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, функционирующих под давлением – ПБ 03-576-03.

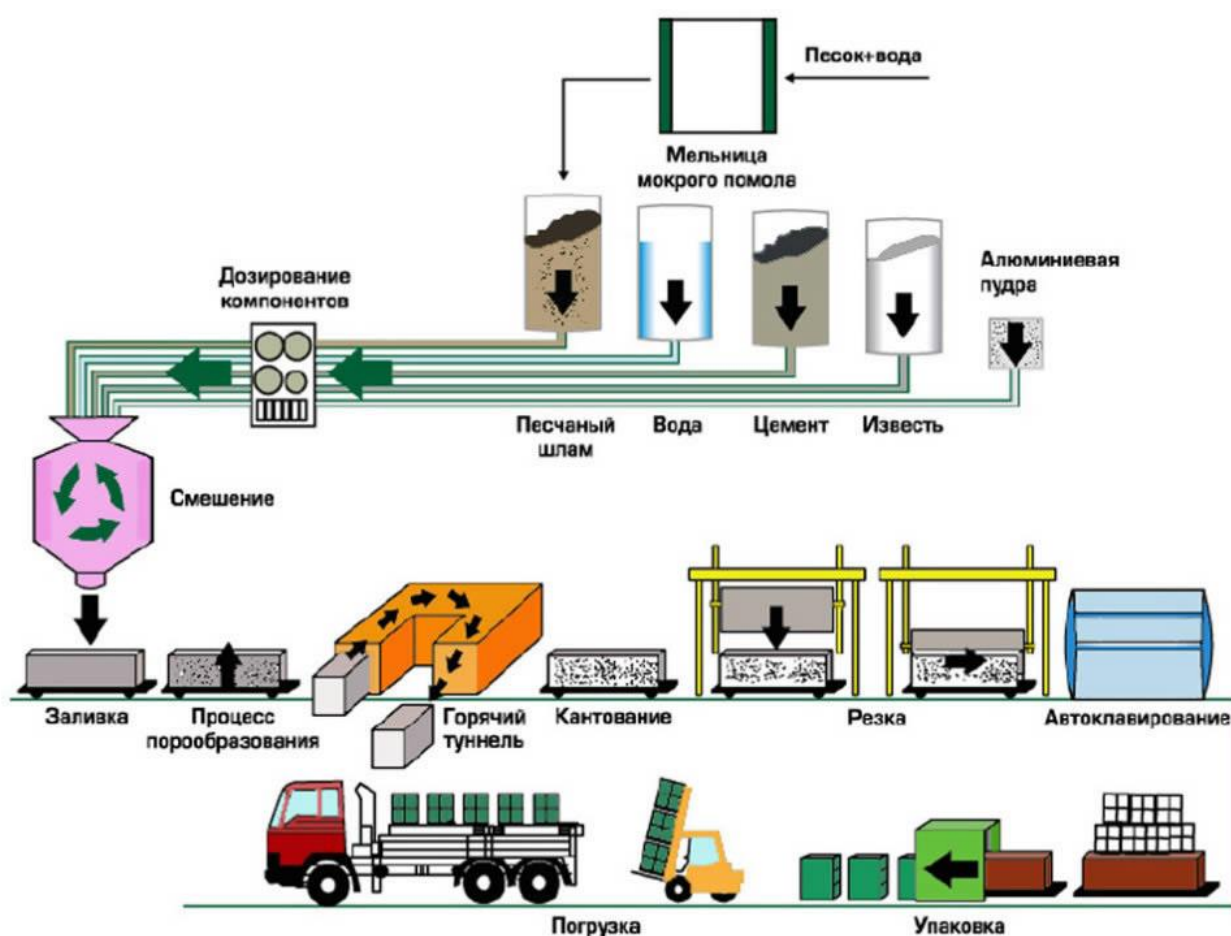


Рисунок 11 – Общая схема производства автоклавного ячеистого бетона

После изготовления пенобетонной смеси, её укладки в формы, а так же после срезки «горбушки» у газобетонных изделий, формы перемещаются в автоклав для набора прочности, где происходит их выдерживание при

повышенной температуре и давлении выше атмосферного. Температура и давления настраиваются отдельно для каждого типа изделий.

Использование автоклавного метода производства имеет ряд недостатков, в частности, повышенные требования к обеспечению безопасности производства, повышенные затраты на организацию технологической линии и повышенное энергопотребление на обеспечение работы автоклавирующего оборудования. Также из автоклавного бетона невозможно изготовление монолитных конструкций.

1.3.4.2 Неавтоклавный способ

Данный способ позволяет получать пенобетоны и изделия на их основе при сниженных трудо- и энергозатратах, а также пригодного для производства монолитных конструкций. Регулировку плотности бетона при неавтоклавной технологии производить намного легче.

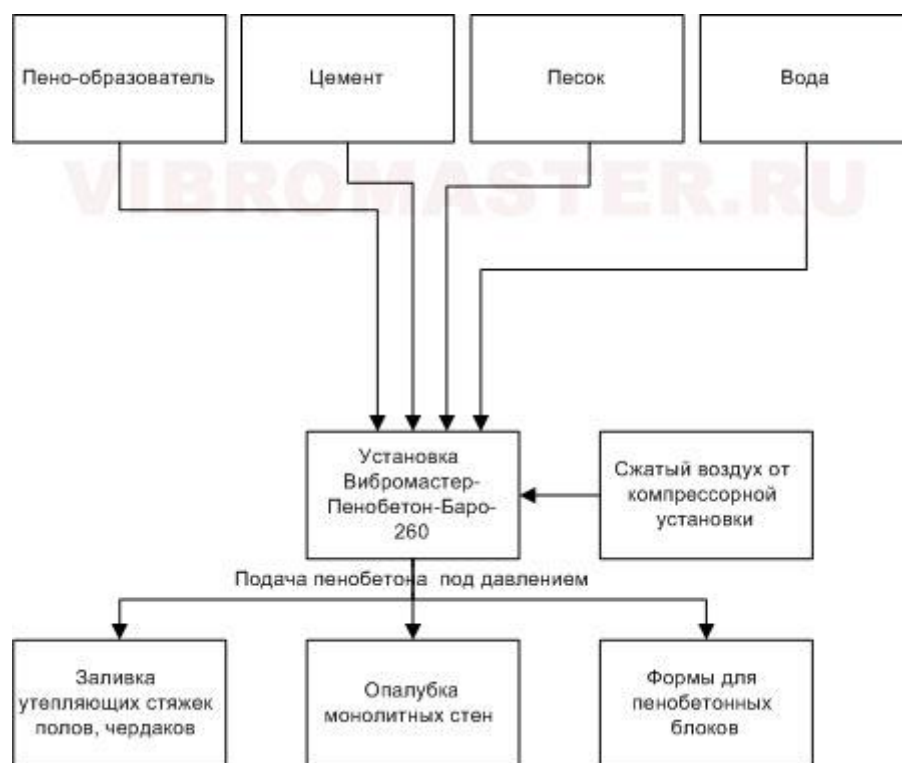


Рисунок 12 – Общая схема производства неавтоклавного ячеистого бетона

Так как после изготовления смеси набор прочности будет происходить при нормальных условиях, а не в автоклаве, такую смесь можно укладывать в формы, а также заливать в монолитные конструкции.

Однако, существенным недостатком данного способа является склонность изделий к значительным усадкам в процессе затвердевания поризованного композита из-за оседания пеномассы под весом частиц раствора.

Одним из путей повышения качества неавтоклавных ячеистых бетонов может служить введение добавок, являющихся центрами кристаллизации и/или роста основных структурообразующих соединений искусственного камня. Предварительно, возможность использования кристаллических затравок можно рассмотреть на примере портландцемента.

1.3.5 Стабилизация поризованной смеси кристаллическими затравками

Вопросам теории гидратации и твердения вяжущих веществ посвящено значительное количество работ. Одно из самых изучаемых и по сей день направлений относится к использованию добавок, влияющих на процессы структурообразования цементного камня. Известно, что на эти процесс активно влияют дисперсные минеральные материалы, как обладающие пуццолановой активностью, так и абсолютно инертные.

Согласно классификации, эти добавки относятся к третьему классу, т.е. способствуют ускоренному возникновению центров кристаллизации или сами являются так называемыми кристаллическими затравками.

Механизм действия таких добавок объясняется следующим образом. Любой процесс кристаллизации протекает в две стадии: образование центров кристаллизации и рост кристаллов. Если раствор совершенно свободен от механических примесей, то зародыши кристаллов возникают с трудом за счет молекул растворенного вещества, объединяющихся в группы. Вышеуказанный добавки способствуют формированию своеобразных подложек, провоцирующих и упрощающих дальнейший рост новообразований.

Их можно условно подразделить на два класса, по типу влияния на процесс гидратации цемента - химические и физико-механические.

Принцип действия физико-механических добавок основан на определении цементного камня как «микробетона». Имеет в виду, что значительная часть

цементных зерен гидратирует не полностью и выполняет роль своеобразных наполнителей цементного камня.

В соответствии с учением Гиббса-Фольмера энергия образования зародышей кристаллов значительно уменьшается при наличии центров кристаллизации, которыми могут служить частицы наполнителя.

Уменьшая радиус зерен наполнителя, можно значительно повысить вероятность зарождения новой фазы. При оптимальной концентрации и дисперсности добавок образуется мелкозернистая структура связующего, что благоприятно отражается на технических свойствах искусственного камня. При введении наполнителя в систему «цемент-вода» скорость твердения и прочность возрастают до тех пор, пока все его зерна остаются окруженными продуктами гидратации.

Многочисленными исследованиями показано, что, кроме «естественных» наполнителей, которыми служат ядра большей части клинкерных частиц, в цементы и бетонные смеси могут быть с успехом введены «искусственные» наполнители (микронаполнители) – тонкомолотые, практически нерастворимые в воде неорганические вещества, состоящие из частиц размером менее 150 мкм. Еще в 1886 году Н. А. Белелюбский опубликовал работу «О песчаном цементе», в которой доказывал целесообразность производства цемента путем совместного помола кварцевого песка с предварительно размолотым портландцементным клинкером.

Материалы, обладающие пуццолановой активностью (Активные минеральные добавки), также, как и химически инертные материалы, выполняют роль активных наполнителей в бетонных смесях. Последние увеличивают дополнительно объем гидратных новообразований цементного камня. При затворении наполненных смесей водой частицы минеральной добавки и цемента в пространственной структурной сетке фиксируются с помощью коагуляционных контактов.

Химически активные добавки смещают направленность реакции гидратации в сторону интенсивного выделения новообразований.

Активные минеральные добавки, вступая во взаимодействие с гидроксидом кальция, образуют низкоосновные гидросиликаты. Карбонаты кальция и магния взаимодействуют с алюмосодержащими клинкерными минералами, образуя комплексные соединения.

Известны исследования по введению в цемент так называемых крентов, которые являются продуктом термической и кислотной обработки ряда природных минералов или промышленных отходов. Они выполняют одновременно роль затравки и реагента для синтеза «геля», т. е. гидросиликатов кальция, а также реагента и затравки для синтеза этtringита.

Активно исследуется способ по введению гидродинамически активированной микродисперсной добавки в воду затворения.

В данном случае получают кристаллическую затравку, ускоряющую кристаллизацию гидратных соединений, обогащают воду затворения составляющими для синтеза этих гидратных образований.

Таким образом, в качестве кристаллических затравок можно эффективно применять, как инертные материалы, обладающие высокой удельной поверхностью, так и химически-активные соединения, способствующие ускорению образования новых фаз из пересыщенного раствора.

Использование затравок кристаллизации для магнезиального вяжущего

Для ускорения роста кристаллогидратов магнезиального вяжущего введение инертных высокодисперсных добавок с большой вероятностью окажется малоэффективным. Для рассматриваемого в работе вяжущего, получаемого методом обжига низкосортных магнийсодержащих горных пород, количество активного оксида магния редко превышает 50 % от массы вяжущего, следовательно, оставшийся процент составляют инертные примеси, имеющие тонкость помола менее 0,08 мм.

Для определения добавок, способных оказать влияние на процесс выделения фаз из пересыщенного раствора, необходимо знать порядок образования кристаллогидратов в процессе гидратации оксида магния, затворенного раствором выбранной соли определенной концентрации.

Для любого типа затворителя первой фазой, образующейся в системе, будет являться гидроксида магния. Учитывая механизм и последовательность возникновения гидратных фаз магнезиального камня в процессе затворения, можно предположить, что дополнительное введение в систему $MgO-MgCl_2-H_2O$ соединения $Mg(OH)_2$ способствует ускорению роста гидрооксихлоридов, так как ионы хлора будут иметь возможность вступать в реакции минуя фазу образования гидроксидов при взаимодействии оксида магния с молекулами воды.

Для использования гидроксида магния в качестве кристаллизационной затравки в магнезиальной пенобетонной смеси целесообразно вводить его непосредственно во взбитую пену. Был предложен способ введения в пену водной суспензии (молочка) оксида магния заданной концентрации. Таким образом, в течение некоторого времени, необходимого для отдельного замешивания хлор-магнезиального раствора, на поверхности воздушных ячеек образуются соединения гидроксидов магния, равномерно распределенные по всему объему пеномассы. Таким образом, добавка гидроксида магния вводится в смесь при последующем перемешивании такой пены с хлормагнезиальным раствором и постепенно активизирует процессы роста гидрооксихлоридов.

1.3.6 Область применения

Пенобетон получил широкое применение в строительстве благодаря своей технологичности и экономичности. Из пенобетона может применяться в широком спектре изделий и конструкций. Из него изготавливают строительные блоки, применяют для монолитного домостроения и тепло- и звукоизолирующих конструкций. Благодаря хорошей текучести из пенобетона можно производить заполнение пустотных пространств. Так же используется для заполнения траншейных полостей.

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

На территории Челябинской области широко распространяется малоэтажное строительство. Основным материалом для возведения зданий является ячеистый бетон, благодаря повышенным характеристикам и высоким теплоизоляционным свойствам. На волне растущего спроса имеет смысл модернизировать технологию производства и использование более энергоэффективного сырья.

Ячеистые бетоны подразделяются по методу производства на автоклавные и неавтоклавные. В качестве сырьевых материалов используется широкий спектр различных вяжущих веществ. Из-за особенностей большинства используемых вяжущих пенобетоны, получаемые методом неавтоклавного твердения, имеют завышенные показатели по плотности, низкую прочность и подвержены значительным усадкам в процессе твердения. Избежать появления подобных дефектов позволяет дополнительное автоклавирование изделий. Данный метод является очень энергоемким и дорогостоящим.

Повысить качество ячеистых бетонов, не прибегая к автоклавной обработке, можно используя вяжущие с быстрым набором прочности в нормальных условиях. Одним из таких вяжущих является магнезиальное на основе доломитов. Применение данного вида вяжущего для производства пенобетона экономически обосновано, поскольку не подразумевает тепловой обработки в среде повышенного давления.

По аналогии с известными способами структурообразования цементного камня предположим, что повышение качества пенобетона можно добиться так же введением в поризованную смесь кристаллической затравки в виде оксида магния.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: получение эффективного неавтоклавного магниезиального пенобетона

1. Исследовать возможность модификации поризованных пенобетонных смесей кристаллическими затравками

2. Изучить влияние кристаллических затравок на фазовый состав, структуру и свойства разработанного пенобетона

3. Оценить полученные пенобетоны с экологической и экономической точки зрения.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Физико-механические методы исследований

Для исследования свойств, получаемых в процессе исследования пен, поризованных смесей, а также ячеистых бетонов использовали стандартные методики и специальные исследования.

2.1.1 Плотность пены

Плотность пены — это соотношение массы пены к её объему. Испытание плотности пен проводились по следующему принципу:

Полученную пену с содержанием оксида магния равномерно укладывали в цилиндр емкостью 1 литр до верха. После емкость с пеной была взвешена и из общей массы вычитали массу пустого цилиндра.

$$M_{\text{пены}} = M_{\text{общая}} - M_{\text{цилиндра}} \quad (1)$$

Плотность пены вычислялась по следующей формуле:

$$P = \frac{M_{\text{пены}}}{V_{\text{цилиндра}}} \quad (2)$$

2.1.2 Стабильность пены

Стабильность пены определяется прочностью поверхностных пленок, разделяющих воздушные пузырьки и жидкость в пене. Чем прочнее эти пленки, тем медленнее разрушается пена, следовательно позволяет дольше хранить её для дальнейшего использования. Метод определения стабильности заключается в том, что готовую пену равномерно загружают в цилиндр емкостью 1 литр и оставляют в сухом не проветриваемом месте ровно на 1 час. Далее замеряется высота оставшейся пены и вычитается высота цилиндра. Стабильность высчитывается по следующей формуле:

$$\text{Стабильность} = H_{\text{цилиндра}} - H_{\text{пены}} \quad (3)$$

2.1.3 Прочность ячеистого бетона на сжатие

Прочность на сжатие представляет собой максимальную нагрузку, которую может выдержать образец в различном возрасте. Сущность метода заключается в испытании единичных образцов пенобетона в различные сроки набора прочности, а именно 1 сутки и 28 суток.

Испытания на прочность проводились на образцах кубиках с высотой граней 10 см, согласно ГОСТ 10180-2012. Образцы бетона для каждого испытания были выпилены из монолитного изделия размерами 500 на 500 мм, и высотой 160 мм. Выпиливание производилось согласно ГОСТ 28570-90. Опорные грани образцов были вышлифованы

Обработка результатов проводилась согласно ГОСТ 10180-2012. Прочность бетона вычисляли по формуле:

$$R_{\text{обр}} = \alpha \frac{F}{A} K_w, \quad (4)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н (кгс); A – площадь рабочего сечения образца, мм²; α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размеров и формы, $\alpha=0,95$; K_w – поправочный коэффициент, учитывающий влажность образцов в момент испытания.

Коэффициент K_w Определяется согласно таблице №13

Таблица 13 – Значение коэффициента K_w

Влажность ячеистого бетона в момент испытания W , % по массе	Поправочный коэффициент K_w
0	0,8
5	0,9
10	1,0
15	1,05
20	1,10
25 и более	1,15

Прочность ячеистого бетона в серии образцов определяют как среднеарифметическое значение всех испытанных образцов серии.

2.1.4 Определение равновесной влажности

Равновесная влажность бетона определяется при испытании образцов, полученных при испытании на прочность. Наибольшая крупность образцов не должна превышать 5 мм. Усреднённая проба, массой 100 г взвешивается, а после высушивается в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. Взвешивание производится до 0,01 г.

2.1.5 Средняя плотность ячеистого бетона

Плотность бетона определяется в состоянии естественной влажности. Объём образцов вычисляется по их геометрическим характеристикам с погрешностью 0,005 мм при помощи электронного штангенциркуля. Масса определяется с помощью электронных весов с точностью 0,005 г, что составляет менее 0,1 % от массы образца. Плотность бетона определяется по формуле:

$$\rho_{\text{обр}} = \frac{m}{V}, \quad (5)$$

где m – масса образца; V – объём образца.

Плотность бетона серии образцов вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания всех образцов серии.

2.1.6 Сорбционная влажность ячеистого бетона

Сорбционная влажность определяется согласно ГОСТ 12852.6-77 испытанием трёх образцов произвольной формы, выделенных из середины изделия, подлежащего испытанию. Не рекомендуется шлифовка и выпиливание образцов в виде ровных кубов. При объёмной массе бетона равной 500 кг/м³ берут образец массой 5 г, при плотности свыше 500 кг/м³ массу образца увеличивают на 1 г на каждые 100 кг/м³ увеличения плотности бетона. Каждый образец должен быть расколот на 3 – 4 кусочка и помещён в отдельный стеклянный стакан.

Стеклянные стаканчики высушивают до постоянной массы при температуре 105°C. Массу стаканчиков считают постоянной, если разница результатов двух последующих взвешиваний будет не более 0,001 г.

Образцы помещают в стаканчики и взвешивают с точностью до 0,001 г.

Взвешенные образцы в стаканчиках высушивают при температуре 105 °С до постоянной массы. Высушивание образцов проводят следующим образом. Сначала образцы ставят в сушильный шкаф на 5 ч, затем на 3 ч, после чего сушат по 3 ч до постоянной массы. После каждой сушки образцы в стаканчиках ставят в эксикатор с безводным хлористым натрием и калия сернокислого, охлаждают в течение 30 мин и взвешивают.



Рисунок 13 – Эксикатор

Высушивание до постоянной массы считают законченным, когда два последовательных взвешивания дают одинаковые результаты или, масса образца начинает увеличиваться. Для подсчета массы высушенных образцов берут наименьшие величины, полученные при взвешивании.

Высушенные образцы бетона в стаканчиках помещают в эксикаторы над насыщенными растворами различных солей, поддерживающими заданную относительную влажность воздуха. Образцы размещаются в эксикаторе на фарфоровой вставке или проволочной луженой сетке так, чтобы дно стаканчика не соприкасалось с раствором.

Все образцы рекомендуется помещать в эксикаторы в один день. Не допускается ставить образцы в те эксикаторы, в которых более месяца находились другие образцы.

Эксикаторы с образцами размещают на полках лабораторного термостата, в котором поддерживают температуру (20 ± 2) °С.

Сорбционную влажность ячеистого бетона вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания трех образцов.

Сорбционную влажность образца W_c вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

$$W_c = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100,$$

где m_1 - масса стаканчика с образцом после установления стабилизации, г;
 m_2 - масса стаканчика с образцом после высушивания образца до постоянной массы, г; m_3 - масса сухого стаканчика, г.

Результаты испытаний оформляют построением графика зависимости сорбционной влажности ячеистого бетона от относительной влажности окружающего воздуха при температуре 20 °С. При построении графика по оси абсцисс откладывают относительную влажность воздуха, а по оси ординат - соответствующую сорбционную влажность ячеистого бетона.

2.1.7 Паропроницаемость

Паропроницаемость - величина, численно равная количеству водяного пара в миллиграммах, проходящего за 1 ч через слой материала площадью 1 м² и толщиной 1 м при условии, что температура воздуха у противоположных сторон слоя одинаковая, а разность парциальных давлений водяного пара равна 1 Па.

Испытательное оборудование для определения характеристик паропроницаемости включает в себя:

- испытательные стеклянные сосуды (чашки);
- средства измерения толщины образца с точностью до 0,1 мм или $\pm 0,5 \%$;
- аналитические весы с погрешностью взвешивания 0,001 г для определения массы испытательного сосуда с образцом.

При увеличении массы сосуда с образцом в два раза и более применяют весы с погрешностью взвешивания 0,01 г. Относительная ошибка при периодическом взвешивании не должна превышать 10 %;

- испытательную камеру, обеспечивающую поддержание относительной влажности воздуха с точностью $\pm 3 \%$ и температуры 23 °С, с точностью $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, с системой обеспечения циркуляции воздуха со скоростью от 0,02 до 0,3 м/с, исключающей прямое попадание потока воздуха на образец;

- измерительные датчики и приборы для регистрации температуры и относительной влажности воздуха.

Плотность потока водяного пара, прошедшего через образец, вычисляется по формуле:

$$g = \frac{\Delta m}{\Delta t A}, \quad (6)$$

где Δm – изменение массы испытательного сосуда с образцом за интервал времени Δt ; Δt – интервал времени между двумя последовательными взвешиваниями, ч; A – площадь рабочей поверхности образца, через которую проходит поток водяного пара, м².

Сопротивление паропроницанию образцов, (м²·ч·Па)/мг, вычисляют по формуле

$$R_{\Pi} = \frac{E - e}{g} - R_{\Pi/B}, \quad (7)$$

где E – давление насыщенного водяного пара в испытательном сосуде, Па; e – давление водяного пара в камере вокруг сосуда, Па; $R_{\Pi/B}$ – сопротивление паропроницанию воздуха, (м²·ч·Па)/мг, определяемое по формуле

$$R_{п.в} = d_B / \mu_B, \quad (8)$$

где - толщина слоя воздуха (расстояние от поверхности воды в испытательном сосуде до нижней поверхности образца), м; - паропроницаемость воздуха в испытательном сосуде, мг/(м·ч·Па),.

Коэффициент паропроницаемости материала , мг/(м·ч·Па), определяют по формуле

$$\mu = d / R_{п}, \quad (9)$$

где - средняя толщина испытуемого образца, м.

2.2 Материалы исследования

2.2.1 Вяжущее

В работе использовали магниезиальное вяжущее на основе доломитовой породы Саткинского месторождения.

Вяжущее получено обжигом при 650 °С с добавкой хлорид калия 2 % и обладает следующими основными свойствами:

- нормальная густота магниезиального вяжущего 28 %;
- тонкость помола вяжущего: остаток на сите № 008 не более 15 %;
- сроки схватывания: начало – 90 мин, конец – 5 часов;
- равномерность изменения объема: на образцах-«лепешках» не наблюдается появление трещин;
- прочность при сжатии через 28 суток твердения – 67 МПа.

2.2.2 Хлорид магния шестиводный

Технический хлористый магний (бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$) использовали как затворитель смеси на основе доломитового вяжущего.

Требования, предъявляемые к качеству бишофита, соответствуют ГОСТ 7759-73«Магний хлористый технический(бишофит). Технические условия» (таблица 4).

Таблица 4 – Физико-химические показатели бишофита

Наименование показателя	Требования по ГОСТ 7759	Фактическое значение
Внешний вид	Чешуйки от белого до светло-серого цвета с оттенками от желтоватого до светло-коричневого	Чешуйки белого цвета
Массовая доля ионов магния (Mg^{2+}), % не менее в том числе на $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, %	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

Физические свойства:

- температура кипения: 1412°C;
- температура плавления: 714°C;
- плотность: 1,59 г/см³;
- твердость: 1 – 2;
- сильно гигроскопичен;
- хорошо растворим в воде, растворяется в этиловом спирте.

Для подготовки затворителя использовали воду, соответствующую требованиям ГОСТ23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов». Бишофит в необходимом количестве был полностью растворен в воде для каждого из замесов.

2.2.3 Оксид магния

Оксид магния (MgO) представляет собой тонкодисперсный порошок белого цвета. В промышленности применяется для производства огнеупоров, цементов, очистки нефтепродуктов, как наполнитель при производстве резины. Сверхлегкий

оксид магния применяется как очень мелкий абразив для очистки поверхностей, в частности, в электронной промышленности.

Оксид магния должен быть произведен в соответствии с ГОСТ 4526-75.

В исследовательской работе применяется: - в качестве экспериментального стабилизатора пен.

2.2.4 Перлит

Для работы использовался вспученный перлит фракцией 1,25 – 0, объемной массой 175 кг/м³.

Вспученный перлит - природный экологически чистый материал, получаемый в результате термической обработки вулканической алюмосиликатной породы. Благодаря своей пористой структуре, перлит является высокоэффективным тепло и звукоизоляционным материалом со значением коэффициента теплоизоляции λ от 0,04 Вт/м²°С. Вспученный перлит обладает отличными сорбционными свойствами, огнестоек, биостоек и химически инертен. Применение перлита возможно в диапазоне температур от -200 °С до +875 °С.

2.2.5 Белковый пенообразователь

В работе использовался протеиновый пеноконцентрат «Эталон», изготовленный по ТУ 2483-003-13420175-2015, предназначенный для изготовления технической пены, используемой при производстве пенобетона различных марок. Объемный вес пенобетона может находиться в диапазоне 100 – 1800 кг/м³. Протеиновый пенообразователь «Эталон» полностью протеиновый, что обеспечивает лучшие характеристики по устойчивости пены в цементном растворе, а главное более высокие прочностные показатели пенобетона. Протеиновый пенообразователь «Эталон» позволяет получать очень качественный мелкопористый пенобетон.

Плотность при 20 °С составляет 1120 кг/м³. Водородный показатель рН = 6,5 – 8,0. Температура застывания – минус 5 °С

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Разработка составов пенобетона, модифицированного кристаллизационными затравками

Для данной работы использовали магниальное вяжущее, полученное обжигом горных пород из отвалов ООО «Магнезит» г. Сатка в присутствии добавок-интенсификаторов. В качестве легкого заполнителя использовали перлит. Количество перлита принимали 20 % от массы вяжущего.

В качестве затравки кристаллизации для поризованной смеси использовали молочко оксида магния. Молочко вводили в пену в процессе взбивания рабочего раствора пенообразователя.

Для разработки составов магниального пенобетона был проведен двухфакторный эксперимент. В качестве факторов были выбраны плотность раствора затворителя (хлорида магния технического) и концентрация молочка оксида магния. Образцы полученных пенобетонов оценивали по плотности и испытывали на прочность при сжатии в 3 и 28 сутки твердения в воздушно-сухих. Исследование прочноти в 1 сутки твердения не проводили из-за повышенной влажности образцов.

Результаты эксперимента приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты эксперимента

Плотность затворителя, г/см ³	Коцентрация молочка, %	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	
			3 сутки	28 сутки
1,22	0	897	1,79	2,87
1,22	15	897	2,92	4,27
1,22	30	879	1,59	2,88
1,20	0	872	1,59	2,51
1,20	15	874	1,65	2,95
1,20	30	900	1,60	2,53
1,18	0	851	1,25	1,85
1,18	15	883	1,62	2,45
1,18	30	906	1,71	2,46

Результаты эксперимента обработаны на ЭВМ и сведены в графические зависимости, приведенные на рисунках 14, 15, 16.

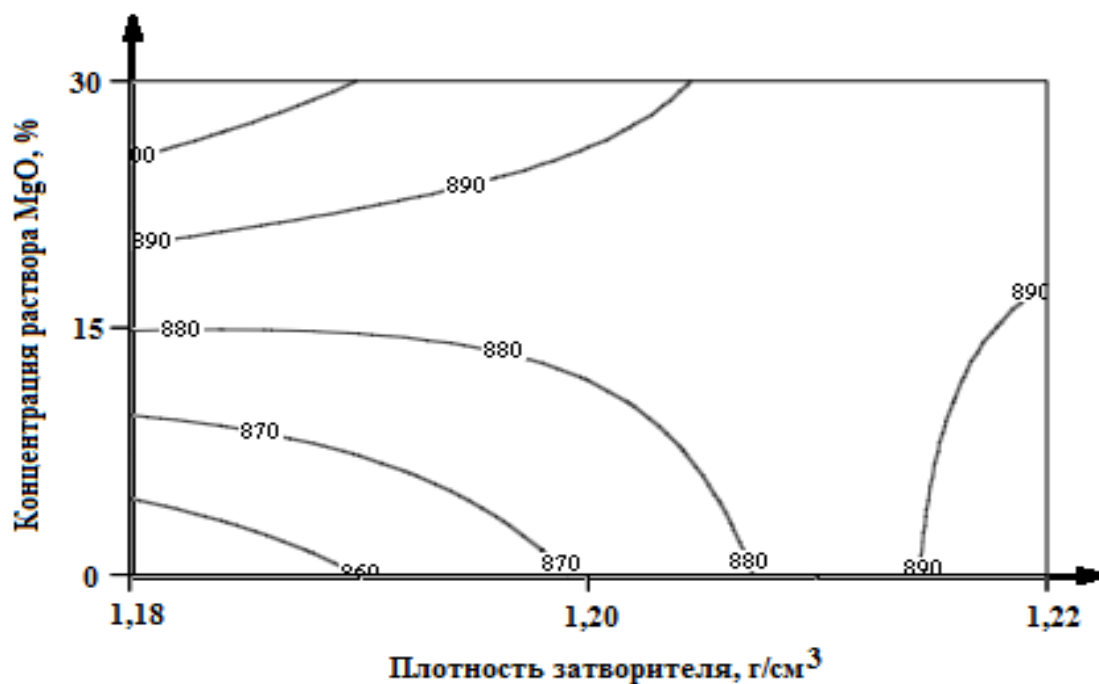


Рисунок 14 – Графическая зависимость плотности ячеистого бетона от плотности затворителя и концентрации молочка оксида магния (28 суток).

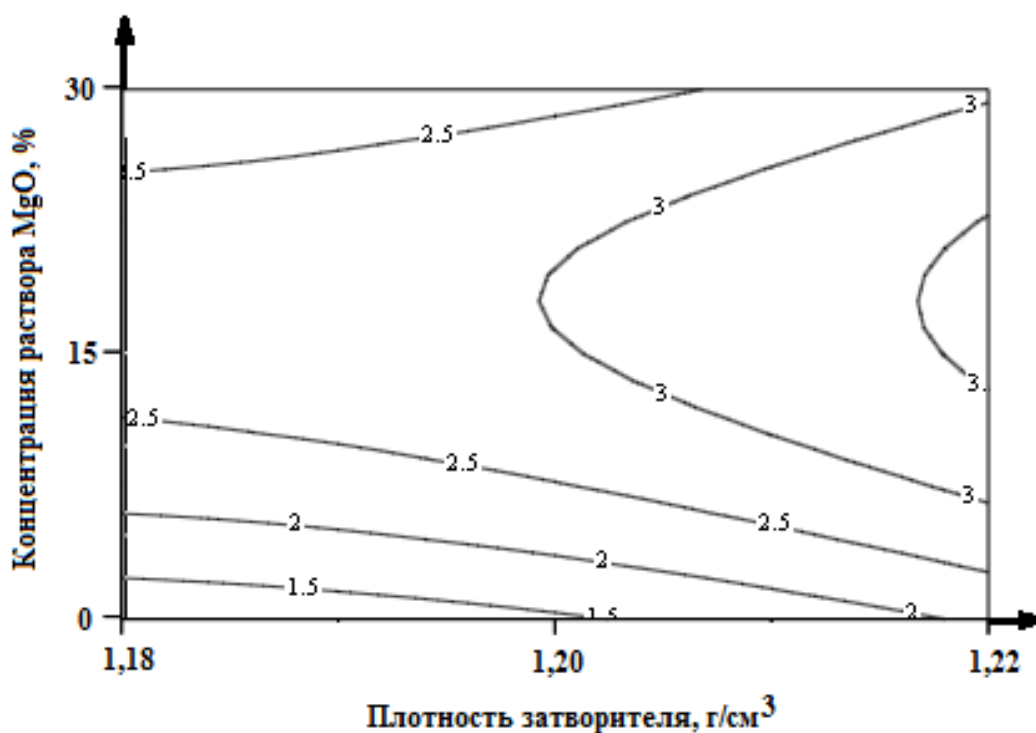


Рисунок 15 – Графическая зависимость прочности ячеистого бетона от плотности затворителя и концентрации молочка оксида магния (3 суток).

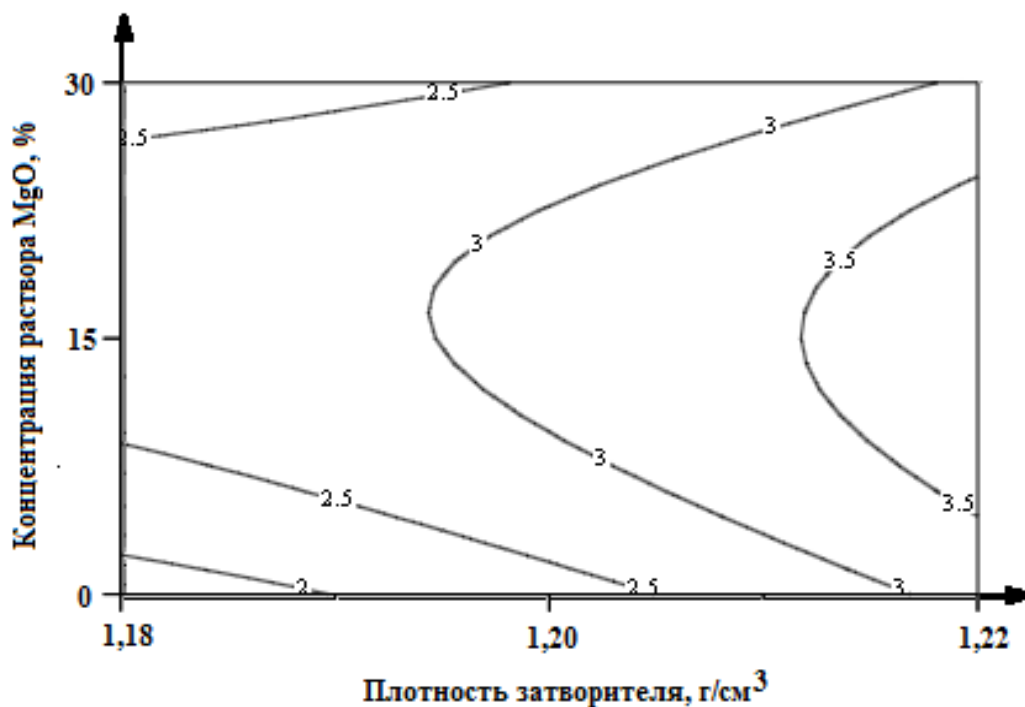


Рисунок 16 – Графическая зависимость прочности ячеистого бетона от плотности затворителя и концентрации молочка оксида магния (28 суток).

По полученным зависимостям можно сделать вывод, о том, что полученные в результате исследования пенобетоны имеют марку по плотности D900. Оптимальные составы получаемых по данной методике пенобетонов могут иметь класс по прочности в пределах от В3 до В4. Рост прочности образцов с третьих до двадцати восьмь суток твердения практически не наблюдается, что по всей видимости связано с формированием основных структурных соединений камня в начальные сроки твердения материала.

3.2 Исследование свойств оптимального состава разработанного пенобетона

По результатам проведенных исследований, можно сделать вывод, о том, что оптимальный состав неавтоклавного магниального пенобетона включает следующие параметры: плотность затворителя должна составлять 1,22 г/см³, а концентрация раствора оксида магния, являющегося затравкой кристаллизации – 15%. Ячеистый бетон, полученный на основании разработанного состава, исследовали на прочность при сжатии, определяли коэффициент паропроницаемости и теплопроводности, а также определяли сорбционную

влажность при 75 и 97 % относительной влажности воздуха. Результаты исследований приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Свойства разработанного магниального неавтоклавного пенобетона.

Оптимальный состав	ρ затворителя = 1,22 г/см ³ , концентрация раствора оксида магния – 15 %
Марка по плотности	D900
Класс по прочности	4
Сорбционная влажность при относительной влажности воздуха 75 % / 95 %	15,9/21,7
Коэффициент паропроницаемости мг/(м•ч•Па)	0,13
Коэффициент теплопроводности Вт/(м•К)	0,24

По результатам исследований можно сделать вывод, о том, что практически все свойства разработанного бетона соответствуют требованиям ГОСТ 25485-89 Бетоны ячеистые. Технические условия. Сорбционная влажность разработанного бетона при 75 % относительной влажности воздуха превышает нормируемый показатель на 5 %. Высокая сорбционная влажность является характерной для бетонов на основе магниальных вяжущих, вследствие их высокой гигроскопичности. Для понижения данного показателя необходимо проводить дополнительные мероприятия по модификации магниального камня железистыми добавками.

3.3 Обработка результатов

Согласно ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», рассчитаем коэффициент вариации для каждой серии испытаний образцов пенобетона.

Расчет для серии на протеиновом пенообразователе с 20 % содержанием MgO в возрасте 7 суток:

Средняя прочность в партии:

$$R_m = (R_1 + R_2 + R_3) / 3 = (4,31 + 4,21 + 4,28) / 3 = 4,27 \text{ МПа}$$

Размах:

$$W_m = R_{i,\max} - R_{i,\min} = 4,31 - 4,21 = 0,1 \text{ МПа}$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$S_m = W_m / \alpha = 0,1 / 1,69 = 0,06$$

Коэффициент вариации:

$$V_m = (S_m / R_m) * 100 \% = (0,06 / 4,27) * 100 \% = 1,4 \%$$

Фактический класс бетона по прочности:

$$R_{\phi} = R_m / K_T = 4,27 / 1,08 = 4,14 \text{ МПа}$$

Фактический класс бетона соответствует классу В4

Так же рассчитаем, удовлетворяет ли число проведенных опытов достоверности результатов, для этого рассчитаем критерий Стьюдента для серии из 3-х образцов.

Примем уровень достоверности 0,9 и доверительную ошибку в 2 %.

Таблица 7 – Образец с 15 % MgO (28 суток)

№ п/п	МПа	\bar{Y}	t_{pf}
1	4,31	-	-
2	4,21	-	-
3	4,28	4,27	2,88

Табличное значение критерия Стьюдента для данного расчет составляет $t_{pf} = 2,8$; что меньше полученного значения. Следственно количество экспериментов можно считать достоверным.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЭКОЛОГИЯ

Проблема безопасности жизнедеятельности приобретает всё большую актуальность в связи с развитием технологий и техники, научно-техническим прогрессом, ведь обеспечение безопасности трудового процесса – это необходимое условия для любой деятельности.

В системе стандартов безопасности труда (ССБТ) собраны специальные нормативно-правовые акты, действующие в нашей стране и направленные на обеспечение отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников.

Право на охрану здоровья закреплено в качестве одного из основных в Конституции Российской Федерации в статье 410. Так же естественным следствием из этого является право работника на безопасные условия труда, закреплённые в статье 37.

Ответственность за состояние работы по охране труда, а так же её организация и руководство возлагается на руководителя и главного инженера предприятия.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ«Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением №1).» при изготовлении закладочных смесей в лабораторных условиях опасными и вредными факторами являются:

- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- 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.

Необходимо оценить вредность и опасность действия этих факторов на здоровье работников. Далее выбраны нормативные значения каждого фактора рабочей среды и трудового процесса, выявлены несоответствия и предложены необходимые мероприятия устранения опасных и вредных воздействий, а также личной защиты работника.

4.2 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды

4.2.1 Микроклимат рабочей зоны

В рабочей зоне производственного помещения микроклимат оказывает большое влияние на здоровье человека, его работоспособность. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха и поверхностей; относительная влажность и скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения.

Действующим нормативным документом, регламентирующим микроклимат производственной среды, является ГОСТ 12.1.005-88 (1999, с изм. №1 2000) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». В соответствии с этим документом работа, производимая в лаборатории, а именно разработка закладочной смеси, относится к категории относятся к категории легких работ класса 1б. Интенсивность энергозатрат от 121 до 150 ккал/ч. Работы производятся стоя и сопровождаются незначительными физическими нагрузками.

Санитарными нормами проектирования предприятий для рабочей зоны производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» установлены допустимые параметры: температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в производственном помещении указаны в таблице 8.

Таблица 8 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных помещениях

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 Iб	21-23	17-25	40-60	75	0,1	Не более 0,2
теплый	Легкие Iб	22-24	19-30	40-60	60 (при 27 °С)	0,2	0,1-0,3

Действие метеорологических условий на организм человека связано с процессами терморегулирования, способствующими теплообмену между организмами внешней средой и независимо от внешней среды поддерживающими постоянную температуру тела человека. Наблюдениями установлено, что человек ощущает комфорт при температуре от 18 до 22 °С относительной влажности воздуха от 40 до 60 % и скорости его движения от 0,1 до 0,2 м/с.

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».

4.2.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны

При производстве вяжущего, а также при измельчении необходимых добавок образуется минеральная пыль.

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

В работе используется доломитовое 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.

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

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

Согласно ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» ПДК составляют:

- для вяжущего на основе доломита ПДК = 10 мг/м³;
- для бишофита (хлорида магния) ПДК = 5 мг/м³.

4.2.3 Освещение рабочей зоны

Уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать характеру выполнения зрительной работы. Грамотно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда.

Нормирование производственного освещения ведется по СНиП 23–05–5*(СП52.13330.20011) «Естественное и искусственное освещение». С целью обеспечения равномерности распределения яркости в производственном помещении при естественном освещении используют комбинированное освещение (верхнее и боковое), при искусственном – общее и местное освещение. Величина освещенности должна быть постоянной во времени. Осветительные приборы должны быть безопасными при эксплуатации и безвредными. Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение.

В лаборатории предусмотрено естественное и искусственное освещение. Естественное (боковое) освещение помещений осуществляется через световые проемы в наружных стенах лабораторного корпуса, естественное (верхнее) освещение производится через световые проемы в местах перепада высот здания. Искусственное освещение обеспечивается шестнадцатью блоками люминесцентных ламп.

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 9.

Таблица 9 – 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, %		освещенность, лк	показатель дискомфорта, М, не более	коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при системе комбинированного освещения		
Г-0,8	3,0	1,0	400	40	10

Празряд зрительной работы очень высокой точности, 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 $\geq 0,5$ %.

4.2.4 Шум на рабочем месте

В лаборатории источниками шума являются виброистиратель и шаровая мельница. При работе машин и механизмов шумы вызываются соударением деталей. Шум от этого оборудования передается на рабочие места и может оказать вредное воздействие на рабочего.

При длительном действии сильного шума на организм человека у него появляется общее утомление, головная боль, ослабление внимания, некоторого нарушения координации движения, снижения слуха и работоспособности. Постоянное воздействие шума приводит к бессоннице и раздражительности. При повышенной интенсивности и длительном воздействии могут развиваться профессиональные заболевания.

Гигиеническое нормирование шумов регламентируют ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на

рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Так как в лаборатории виброистиратель и шаровая мельница малогабаритные и длительно не используются, поэтому вредное воздействие на лаборанта отсутствует.

Основой нормирования шума является учет различия биологической опасности шума в зависимости от спектрального состава и временных характеристик. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах указаны в таблице 10.

Таблица 10 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие зоны 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. Индивидуальные меры защиты включают использование вкладышей, наушников.

4.2.5 Вибрация на рабочем месте

В лаборатории источниками вибрации является виброистиратель. При работе машин и механизмов вибрации вызываются инерционными силами, силами трения, движением элементов с переменным ускорением, соударением деталей. Вибрация от этого оборудования передается на рабочие места и может оказать вредное воздействие на рабочего.

При длительном действии сильной вибрации на организм человека у него изменяется чувствительность кожи рук, появляется общее утомление, головная

боль, ослабление внимания, некоторого нарушения координации движения, снижение работоспособности. При повышенной интенсивности и длительном воздействии вибрации могут развиваться профессиональные заболевания.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентируют документы ГОСТ 12.1.012 - 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», СН - 2.2. 4/2.1.8. 556 - 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Так как в лаборатории виброистиратель малогабаритный и длительно не используются, поэтому вредное воздействие на лаборанта отсутствует.

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 11.

Таблица 11 – 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	
	1/3 окт	1/1 окт	1\3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1\3 окт	1/1 окт
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

Окончание таблицы 11

Среднегеометрические частоты полос	Нормативные значения в направлениях							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с 10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
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	
25,0	0,0250		88		0,016		70	
31,5	0,0320	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,0400		92		0,016		70	
50,0	0,0500		94		0,016		70	
63,0	0,0630	0,110	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,0790		98		0,016		70	
Корректированные и эквивалентные корректированные		0,014		83		0,028		75

Наиболее действенным средством защиты человека от вибрации является устранение непосредственного его контакта с вибрирующим оборудованием. Замена и усовершенствование технологических операций, конструктивные усовершенствования, применение средств внешней виброзащиты, которые размещаются между источником вибрации и руками человека, а также постоянный контроль за исправностью оборудования и своевременным планово-предупредительным его ремонтом, так как, в процессе его эксплуатации и износа,

особенно для ручного механизированного оборудования, происходит выраженное усиление вибрации. В целях профилактики работающие должны использовать средства индивидуальной защиты: рукавицы или перчатки, спецобувь.

В общем, для предотвращения вредного воздействия шума и вибрации в лаборатории необходимо:

- эксплуатировать только исправные машины, а также проводить периодический осмотр и необходимый ремонт техники;
- работать лицам не моложе 18 лет, прошедшим медицинский осмотр, имеющим соответствующую квалификацию и сдавшим технический минимум по правилам безопасного выполнения работ;
- выполнение работ при наличии средств индивидуальной защиты от шума (наушники);
- снижать уровень звукового давления архитектурно-акустическими мероприятиями;
- снижение шума за счет конструктивных решений;
- выбирать рациональный режим труда и отдыха рабочих.

4.3 Безопасность производственных процессов и оборудования

При работе использовалось оборудование: виброистиратель, шаровая мельница, гидравлические прессы.

Все работники должны быть ознакомлены с правилами безопасного поведения в лаборатории. Также, должна быть проведена проверка рабочего на знание этих правил.

Основные мероприятия, обеспечивающие безопасность производственных процессов:

1. Допуск к работе лиц, прошедших инструктаж по охране труда на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам работы и проверка знаний.
2. Конструкция производственного оборудования должна исключать опасность для работающих. Студент или преподаватель, приступая к работе, обязан проверить состояние и исправность оборудования.

3. Размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего.

4. Работать разрешается только в установленных нормативными документами средствах индивидуальной защиты.

5. На территории лаборатории запрещается находиться посторонним людям без соответствующего разрешения, а также не прошедших инструктаж по технике безопасности.

Правила безопасной эксплуатации виброистирателя и шаровой мельницы должны соответствовать требованиям СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве» пункт 7.3 Требования безопасности при эксплуатации стационарных машин. А их технические требования должны соответствовать ГОСТ 10141-91 «Мельницы стержневые и шаровые. Общие технические требования».

Правила безопасной эксплуатации виброистирателя и шаровой мельницы:

- при проведении осмотра и проверки исправности машин перед работой электропусковое устройство должно быть выключено;
- при обнаружении неисправностей не начинать, либо прекратить работу с машиной;
- при проведении профилактических осмотров и ремонтов электропусковое устройство оборудования должно быть выключено и необходима табличка с предупреждающей надписью;
- все части данных машин должны быть заземлены согласно существующим правилам ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»;
- запрещается производить ремонт, регулировку или разборку машин без отключения от электросети и необходимой квалификации;
- запрещается оставлять машины без присмотра во время их работы;
- запрещается использовать машины без защитных кожухов.

Конструкция гидравлических прессов должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.017-93 «Оборудование кузнечно-прессовое».

Правила безопасной эксплуатации гидравлических прессов даны в ГОСТ 12.2.117-88 «Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические»:

- все детали прессов, находящихся под давлением, необходимо подвергать постоянному осмотру, периодическим освидетельствованиям и испытаниям;

- прессы должны быть снабжены специальным устройством, предотвращающим самопроизвольное опускание подвижной траверсы;

- подвижная траверса должна двигаться по направляющим с минимальным зазором, не допуская перекосов;

- прессы должны быть снабжены устройствами для удержания подвижной траверсы в верхнем положении для ремонтных работ и оборудованы специальными ограничителями хода вниз;

- запрещается поправлять образец без выключения пускового механизма и полной остановки траверсы;

- запрещается оставлять пресс без присмотра во время испытания;

- запрещается производить ремонт, регулировку или разборку машин без отключения от электросети и необходимой квалификации рабочего.

4.4 Электробезопасность

Все помещения в цехе – без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18 – 20 °С, с влажностью 40 – 50 %). Электробезопасность в цехе обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Для безопасной эксплуатации электрических установок, работающих в цехе, согласно ГОСТ 12.1.019-79 – 79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1)», используют конструктивные меры защиты – зануление, заземление, системы защитного отключения и другие.

Зануление устраивают на случай повреждения изоляции и возможности замыкания тока на металлических частях электроустановок с изолированным нулём. По ГОСТ 12.1.030 – 81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменениями №1)» заземление можно производить к естественным и искусственным заземлителям. Естественные – металлические трубопроводы и конструкции зданий, соединённые с землёй. Искусственные – забитые в землю стальные трубы диаметром 50 мм или металлические уголки размером 50 × 50 мм.

Использование напряжения в 12 или 36 В исключает поражение электрическим током. При использовании напряжения свыше 36 В должно обеспечиваться ограждение проводов и токоведущих частей. Значения 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 напряжений прикосновения и токов (с Изменениями №1)» ПДУ напряжений прикосновения и токов указаны в таблице 12.

Все внутри лабораторные провода выполнены изолированными. Пусковые устройства защищены кожухами, помещенные в запирающиеся ящики и заземленные.

Защитное отключение осуществляется автоматически при возникновении опасного напряжения на металлических частях оборудования в связи с порчей изоляции.

Таблица 12 –Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и 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.

4.5 Пожаробезопасность

Противопожарная защита достигается применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники: огнетушителей, пожарного инвентаря. Все средства пожаротушения должны находиться в доступном месте и в исправном состоянии. В лаборатории источниками пожара могут быть электрическое оборудование и легковоспламеняющиеся материалы.

Общие требования к пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.004–91 (1999). «Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменениями №1)». Согласно этому документу опасными факторами, воздействующими на людей и материальные блага, являются: электрический ток, искры, повышенная температура окружающей среды, токсичные продукты горения и дым.

Кафедра ЮУрГУ «Строительные материалы» относится к категории Д по пожароопасности и оснащена системой пожарной сигнализации, пожарными гидрантами, первичными средствами защиты от пожара: ОП–4(твердые вещества, жидкие вещества, газообразные вещества), ОУ–4 (для тушения пожаров горючих

жидкостей, пожаров газообразных веществ, а также пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением не более 10000 В). Кроме того, все специалисты, практиканты, студенты в обязательном порядке проходят вводный инструктаж по правилам пожарной безопасности перед допуском к работе в лаборатории. Курение разрешено в специально отведенных местах.

4.6 Экология

На территории Челябинской области и России существует большое количество доломитовых отвалов, которые опасны для людей и оказывают вредное воздействие на окружающую среду.

Одним из путей решения этих вопросов является переработка отходов горной промышленности в вяжущее на основе доломитовых отвалов. Материалы на основе магнезиального вяжущего обладают высокой технологичностью, быстрым набором прочности без тепловой обработки, беспыльностью, высокой стойкостью. В научной работе по разработке поризованной смеси используются магнезиальное вяжущее, оксид магнезия, пенообразователи, бишофит.

Первый материал является не только безопасным с экологической точки зрения, но даже полезным. Так как, на сегодняшний день стоит острая проблема утилизации всех накопившихся многотоннажных отходов различных производств. Например, в городе Сатка Челябинской области восьмью карьерами эксплуатируется шесть месторождений магнезитов. Карьерно-отвальное хозяйство комбината "Магнезит" шириной от 1,8 до 2,9 км тянется на 9,5 км. Отвалы (более 30 отвалов) также расположены в основном на бортах карьеров или в непосредственной близости от них, образуя единую систему, различающуюся по целевому назначению (специальные отвалы магнезитов, доломитов и др.) и содержащую около 170 млн. м³ вскрышных пород.

Получение ячеистых пенобетонов на основе этих накопившихся материалов позволяет утилизировать накопленные в отвалах доломиты и магнезийсодержащие шламы карналлитовых хлораторов (которые используются для получения

доломитового вяжущего), а также существенно снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду в районах размещения этих отходов.

Данная разработка пенобетона является безопасной и нетоксичной для человека. Для окружающей среды составляет опасность лишь излишнее содержания хлорида магния (бишофита), именно излишки хлора могут отрицательно воздействовать на экологию.

Бишофит – это кристаллическая соль, оставшаяся от испарения древнего моря, впервые обнаружен в цехштейновых отложениях Германии. В ископаемом состоянии бишофит встречается в виде соляной зернисто-кристаллической породы. В чистом виде кристаллы бишофита водяно-прозрачные.

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). Внимание биологов и почвоведов к поведению хлора и хлоридов в природных системах объясняется высокой обменной активностью этих элементов, хорошей растворимостью их в воде. Хлориды наиболее подвижны в почвенных растворах. Накопление хлоридов может достигнуть грунтовых вод и зоны корневой системы растений (до 60 см глубины).

Необходимо принимать во внимание, что, хотя в соответствии с данными справочной литературы подпороговая максимально недействующая на санитарный режим концентрация хлоридов в воде составляет 300 мг/л, но даже очень низкие допороговые концентрации солей (от 10 до 20 мг/л) оказывают заметное действие на корневую систему.

Засоление воды и почвы является стрессовым фактором среды обитания высшей растительности – травянистой, кустарниковой, древесной. В зависимости от солеустойчивости и солевыносливости биологических видов засоление нарушает метаболизм растений, влияет на рост, размножение и расселение видов, внося деструктивные изменения в экосистемы. Симптомы повреждения растений солью выражаются в ожогах, скручивании, преждевременном опадании листьев,

суховершинности стеблей, загнивании корней, сокращении вегетационного периода.

С другой стороны, имеются данные, указывающие на то, что попадание хлоридов в окружающую среду даже в больших количествах не оказывает отрицательного влияния на произрастающую здесь растительность.

Солевыносливость не является стабильным признаком растения, а представляет собой процесс, изменяющийся во времени: у неустойчивых и среднеустойчивых растений (к этому типу относится большинство видов) преобладают изменения концентраций веществ, способствующих повышению устойчивости, тогда как у устойчивых – качественные перестройки обмена веществ.

Серьезным источником загрязнения являются места складирования пескосоляных смесей, так как в подавляющем большинстве они представляют собой открытые для воздействия погодно-климатических факторов площадки. В результате водной и ветровой эрозии растворы хлористых солей накапливаются в почве и приводят к гибели растительности в радиусе нескольких метров от мест хранения соли.

Следовательно, местоположение складов следует выбирать с учетом особенностей природной среды, рельефа местности, наличия водоемов. Кристаллические соли следует предохранять от атмосферных осадков.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной работе рассматривается разработка пенобетона на основе магнезиального вяжущего и дальнейшего производства этого материала и его использование для строительного производства. Пенобетонные блоки на магнезиальном вяжущем из доломита значительно дешевле магнезиального вяжущего ПМК-75 и цемента ПЦ500 Д0.

Производство пенобетона в настоящее время, необходимо организовать на ОАО Комбинат «Магнезит» в городе Сатке Челябинской области. Здесь есть всё необходимое оборудование, основные материалы (используемые отвалы для производства пенобетона), а также потенциальные потребители в виде застройщиков малоэтажного строительства. Полученный пенобетон можно будет использовать и для других строительных объектов Челябинской области.

Для определения экономической эффективности произведем расчет калькуляции расходов и определим рентабельность данной работы. Проведем сравнение изготовления пенобетона на основе магнезиального вяжущего на основе доломита, магнезиального вяжущего ПМК-75 и цемента.

Основные затраты, входящие в себестоимость продукции, представлены в таблицах 13 – 17.

Таблица 13 – Стоимость сырьевых материалов и энергоносителей

Наименование	Единица измерения	Цена, руб., с НДС
Доломитовое вяжущее	т	1175
Бишофит	т	7500
Оксид магния	т	13500
Перлит	т	9600
Электроэнергия	кВт·ч	3,19

Таблица 14 – Затраты на оборудование и амортизацию

Наименование	Цена, тыс руб., с НДС	Кол-во, шт	Итого	Амортизация	
				%, в год	руб.
Пеногенератор	68,5	1	68,5	10	6,85
Смеситель	98	1	98	10	9,8
Дозатор	92	1	92	5	4,6
Растворонасос	104	1	104	10	10,4
Бункер для вяжущего	90	1	90	10	9
ИТОГО			452,5		40,65

Тогда отчисления на амортизацию ОПФ на 1 м³ пенобетона будут 9,143 руб., так как день выход пенобетона составляет 18 м³ (120 000 шт/год).

Таблица 15 – Потребление электроэнергии

Оборудование	Мощность, кВт	Кол-во, шт.	Общая мощность, кВт	Часы работы в сутки	Итого		Затраты на 1 м ³ пенобетона, руб
					кВт·ч	руб	
Пеногенератор	2,2	1	2,2	12	26,4	84,2	4,7
Смеситель	3,1	1	3,1	12	37,2	118,7	6,6
Растворонасос	2,2	1	2,2	12	26,4	84,2	4,7
Дозатор	3,5	1	3,5	12	42	134	7,4
Освещение	0,1	25	2,5	12	60	191,4	10,6
ИТОГО							34

Таблица 16 – Затраты на сырьевые материалы

Наименование	Расход на м ³ готовой продукции, кг	Цена сырья, руб/т	Затраты на сырьё, руб/м ³
Магнезиальное вяжущее	600	1175	705
Бишофит технический	175	7500	1312
Вода техническая	213,8	2,5	5,4
Пенообразователь	0,6	75000	45,5

Окончание таблицы 16

Наименование	Расход на м ³ готовой продукции, кг	Цена сырья, руб/т	Затраты на сырьё, руб/м ³
Оксид магния	6,06	13500	81,9
Перлит	50	9600	480
ИТОГО			2629,8

Таблица 17 – Затраты на оплату труда рабочих

Персонал	Численность, чел.	Отчисления на заработную плату, тыс руб.	Затраты на 1 м ³ пенобетона, руб.
Мастер	1	25	63,13
Рабочие	3	60	151,5
Внебюджетные фонды	34 %	28,9	73,0
ИТОГО			287,63

Таблица 18 – Расчет стоимости пенобетона на магниальном вяжущем

Вид затрат	Затраты на 1 м ³ пенобетона, руб
Сырьё	2629,8
Электроэнергия	32,78
Оплата труда	287,63
Отчисления на амортизацию ОПФ	9,143
ИТОГО	
Себестоимость	2959,4
Рыночная цена	3478,9

Также в себестоимость продукции входят затраты на доставку сырья железнодорожным транспортом – 10 % и общепроизводственные расходы – 5 %. Норма прибыли составляет 15 %.

Таким образом, себестоимость пенобетона на магниальном вяжущем составляет 2959,4 руб. за 1 м³ пенобетона. А стоимость такого пенобетона на рынке 3478,9 руб. за 1 м³.

Стоимость магниального вяжущего ПМК-75 составляет 10 000 рублей за 1 т, а магниального на доломите 1175 руб. за 1 т, что в 8,5 раз дешевле. Таким образом, если посчитать затраты для получения пенобетона, на сырьевые материалы с использованием магниального вяжущего ПМК-75, то получим 8940,5 руб. за 1 м³ пенобетона.

Стоимость 1 т цемента ПЦ500 Д0 равна 5000 рублей, извести 12000 рублей. Следует отметить, что производство пенобетона на цементе подразумевает использование автоклава и дополнительные расходы на воду. Следовательно, стоимость пенобетона на цементе ПЦ500 Д0 будет равна 3423,4 руб. за 1 т смеси.

Расчет стоимости закладочной смеси на магниальном вяжущем ПМК-75 и цементе ПЦ500 Д0 приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет стоимости пенобетона на магниальном вяжущем ПМК-75 и цементе ПЦ500 Д0

Вид затрат	Затраты на 1 м ³ пенобетона на ПМК-75, руб.	Затраты на 1 м ³ пенобетона на цементно-известковом вяжущем, руб.
Сырьё	7444,8	2360
Электроэнергия	32,78	74,78
Оплата труда	287,63	287,63
Отчисления на амортизацию ОПФ	9,143	254,443
ИТОГО		
Себестоимость	8940,5	3423,4
Рыночная цена	10281,6	3936,9

На рисунке 20 приведена сравнительная диаграмма рыночных стоимостей закладочных смесей на разных вяжущих.

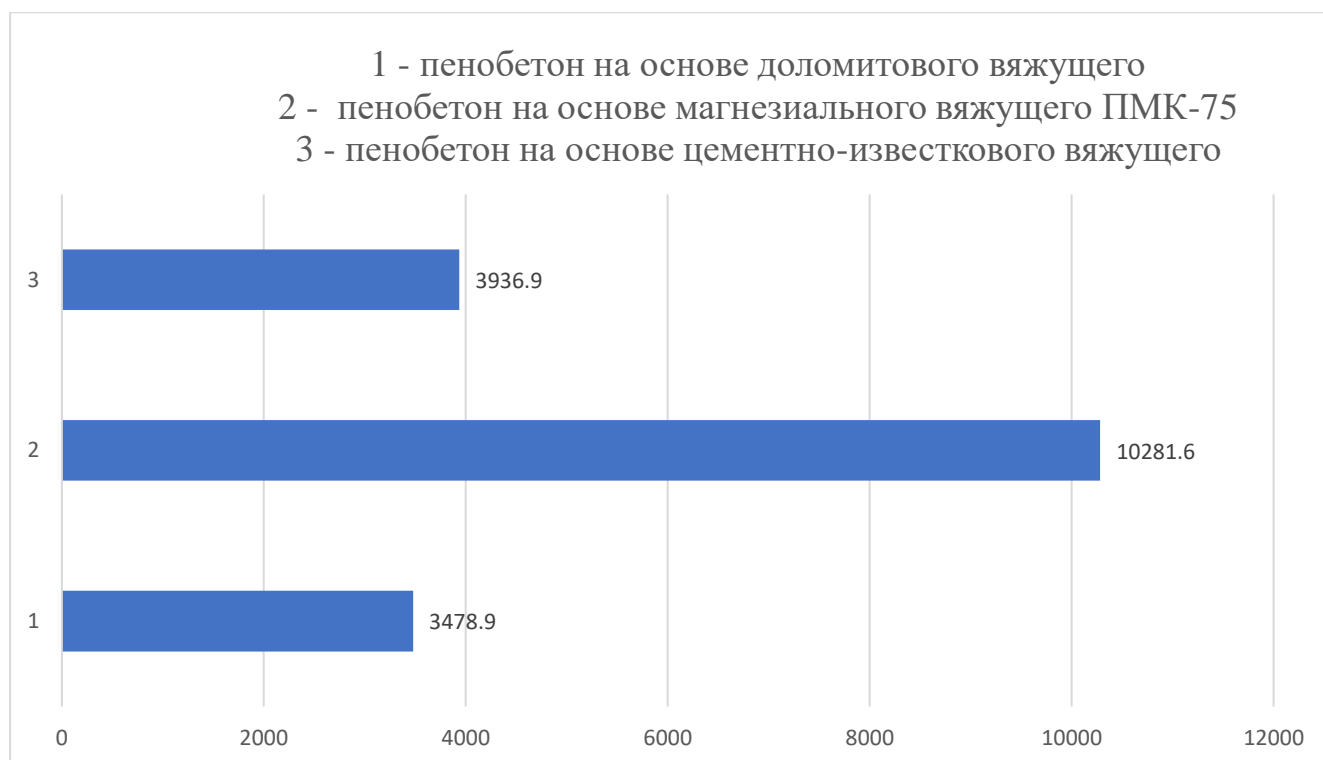


Рисунок 20 – Сравнительная диаграмма рыночных стоимостей закладочных смесей на разных вяжущих

Рентабельность изготовления пенобетона на основе магнезиального вяжущего равна прибыли разделить на затраты.

$$\text{Рентабельность} = (3478,9 - 2958,4) / 2958,4 \cdot 100 \% = 17,6 \%$$

Проведенный экономический расчет показал, что производство пенобетона на основе магнезиального доломитового вяжущего и побочных продуктов промышленности Челябинской области является более выгодной по сравнению с традиционно используемыми материалами. Так, за 1 м³ пенобетона на доломитовом вяжущем экономится 6802,7 руб. по сравнению с пенобетоном на магнезиальном вяжущем ПМК-75 и 458 руб. по сравнению с изделием на цементно-известковом вяжущем.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследования были разработаны составы магниезальных пенобетонов неавтоклавного твердения с варьируемым содержанием модифицирующей добавки, являющейся кристаллической затравкой в процессе формирования магниезального камня и варьируемой плотностью затворителя.

2. Наиболее эффективный состав был получен при плотности затворителя $1,22 \text{ г/см}^3$ и при 30 % концентрации раствора затравки кристаллизации. Полученный на его основе пенобетон обладает маркой по плотности D900 классом по прочности B4,5, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,24 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, коэффициентом паропроницаемости $= 0,13 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$ и сорбционной влажностью 15,9 % при равновесной влажности воздуха 75 % и 21,7 % при равновесной влажности воздуха 97 %.

3. Исследование фазового состава магниезальных пенобетонов показало, что количественное содержание фазы пентаоксигидрохлорида магния прямо пропорционально прочности образцов.

4. Исследование количественного содержания фаз магниезального камня в различные сутки твердения показало, что количество пентаоксигидрохлорида для составов, включающих раствор кристаллической затравки, практически не изменяется во времени.

5. Магниезальные ячеистые пенобетоны неавтоклавного твердения набирают прочность в первые сутки твердения, но теряют излишнюю влагу в течение семи суток после формования. Таким образом, для сокращения производственного цикла необходимо включить в технологическую линию сушильный агрегат.

6. Экономическая эффективность разработанных пенобетонов подтверждена в сравнении с известным аналогом на цементно-известковом вяжущем, а также с магниезальным пенобетоном на основе магниезального вяжущего ПМК-75.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 40 с.
2. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытания. – М.: Изд-во стандартов, 198. – 12 с.
3. ГОСТ 7759-73. Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 16 с.
4. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением №1). – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 2 с.
5. ГОСТ 12.1.005-88 (1999, с изм. №1 2000). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 17 с.
6. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2008 год. – 28 с.
7. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с изменением №1). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 97 с.
8. ГОСТ 12.2.003-91 (2001). ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 37 с.
9. ГОСТ 12.3002-75 (1990). ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 57 с.
10. ГОСТ 12.2.007-88. ССБТ. Оборудование электротехническое. Требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 19 с.
11. ГОСТ 12.1.030-81 (2001). ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление (с Изменениями №1). – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
12. ГОСТ 12.2007.9-93. Безопасность электротермического оборудования. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 15 с.
13. ГОСТ 12.2.017-93. Оборудование кузнечно-прессовое. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 6с.

14. ГОСТ 12.2.117-88. Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 4с.

15. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1897. – 4с.

16. ГОСТ 12.1.038. ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1982. – 5с.

17. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная опасность. Общие требования (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1991. – 23с.

18. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. – М.: Стандартиформ, 2012 г. – 12 с.

19. ГОСТ 1216-87. Порошки магниезиальные каустические. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 20 с.

20. ГОСТ 10141-91. Мельницы стержневые и шаровые. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 15 с.

21. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 18 с.

22. 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.

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

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

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

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

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

28. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Минздрав России, 1997. – 24 с.

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

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

31. Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей. – Апатиты: Кольский научный центр, 1990. – 97 с.

32. Боженков, П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология / П.И. Боженков. – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 264 с.

33. Бездина, С.Я. Рекомендации по оценке качества воды для орошаемого сельского хозяйства / С.Я. Бездина. – М., 1984. – 34 с.

34. Белицкий, Ю.Д. Пластиды и адаптация растений к засолению / Ю.Д. Белицкий. – Ростов-на-Дону, 1990. – 27 с.

35. Беспмятников, Г.П., Кротов Ю.А. Предельнодопустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник. / Г. П. Беспмятников, Ю. А. Кротов. – Л.: Химия, 1985. - 528 с.

36. Вайвад, А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества / А.Я. Вайвад – Рига: Наука, 1971. – 315 с.

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

38. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 367 с.

39. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 334 с.

40. Гришина, М.Н. Получение водостойких магнезиальных вяжущих с использованием местного сырья и отходов промышленности / М.Н. Гришина // Автореферат на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Барнаул 1998. – 21 с.

41. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности. Учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Феникс, 2007.

42. Кабанов, В.С. Магнезиальные оксихлоридные цементы. Продукты твердения и их растворимость / В.С. Кабанов. – М.:РАН, Кольский научный центр им. Кирова, 1992. – С. 78-83.

43. Конституция (1993). Конституция Российской Федерации. – М.: Изд-во «Экзамен», 2004. – 64 с.

44. Козлова, В. К. Свит Т.Ф., Гришина М.Н. Фазовый состав водостойкого магнезиального камня // Резервы производства строительных материалов. Ч.1 / В.К. Козлова, Т.Ф. Свит, М.Н. Гришина. – Барнаул: Алт.ГТУ, 1997. – С. 27-31.

45. Крамар, Л.Я. О требованиях стандарта к магнезиальному вяжущему строительного назначения / Л.Я. Крамар // Строительные материалы №1. 2006 – с. 47-53.

46. 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.

47. Крамар, Л.Я. Особенности твердения магнезиального вяжущего / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, Б.Я. Трофимов // Цемент и его применение, 2006. – №5-6.

48. Пащенко, А.А. Вяжущие материалы / А.А.Пащенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская. – 2-е изд. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 440 с.

49. Прокофьева, В.В. Строительные материалы на магнезиальном сырье / В.В. Прокофьева, З.В. Багаутдинов, Г.А. Денисов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 1999. - №2. – с. 30-31.

50. Смирнов, И.А. Солевыносливость древесных растений / И.А. Смирнов. – Красноярск: Университет, 1986. – 15 с.

51. Соловьева, Е.С. Физико-химические особенности твердения магнезиального цемента, Журнал прикладной химии, т. 30 / Е.С. Соловьева, Б.И. Смирнов, Е.Е. Сегалова, П.А. Ребиндер. – М.: 1968 г.

52. Технологическая инструкция по производству закладочных работ на рудниках комбината "Ачполиметалл" / Ленинград: ВНИМИ, 1984, – 26 с.

53. Шелягин, В.В. Магнезиальный цемент (сырье, технология получения и свойства) / В.В. Шелягин. – Санкт-Петербург: «Перспектив науки», 2006. – 206 с.

54. Горная энциклопедия. – <http://www.mining-enc.ru/d/dolomit/>.

55. Государственная служба дорожного хозяйства министерства транспорта Российской Федерации. Экология зимнего содержания автомобильных дорог. Обзорная информация. – <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/56/56234/index.htm>.

56. Законодательное собрание Челябинской области. – <http://www.zs74.ru/>.

57. Металлоторг, справочник. – <http://www.metaltrade.ru>.

58. Общая информация о бишофите. – <http://www.vhim.net.ru/bishofit.htm>.

59. Сферы применения бишофита. – <http://bishofit-ooo.ibud.ua/ua/polniu-pressreliz-companii/sfery-primeneniya-bishofita-59977>.