


АННОТАЦИЯ

Кошелев В.А. Разработка
модифицированного пенобетона на
магнезиальном вяжущем – Челябинск:
ЮУрГУ, СМиИ, 2020, 97с., 8 ил., 10 табл.
Библиографический список – 22
наименования.

В выпускной квалификационной работе представлены результаты исследований модифицирования магнезиальных пенобетонов путем добавления никелевого шлака для улучшения показателей сорбционной влажности. Изучены основные физико – механические показатели образцов оптимального состава, приведены расчеты экономических показателей для обоснования целесообразности запуска предприятия.

| | | | | | | | | |
|-------------|------|---------------|---|-------|---|--|------|--------|
| | | | | | 08.04.01.2020.096.00.00.ПЗ | | | |
| Изм | Дата | № докум. | Подпись | Дата | | | | |
| Разраб. | | Кошелев В.А. |  | 31.05 | Разработка модифицированного пенобетона на магнезиальном вяжущем | Литера | Лист | Листов |
| Проверил | | Трофимов Б.Я. | | | | ВКР | 3 | 65 |
| Нормоконтр. | | Черных Т.Н. | | | | ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «Строительные материалы и изделия» | | |
| Зав. каф. | | Орлов А.А. | | | | | | |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР | 6 |
| 1.1 Актуальность темы исследования | 6 |
| 1.2 Общие сведения о ячеистых бетонах | 7 |
| 1.3 Пенобетоны | 10 |
| 1.3.1 Общие сведения о пенобетонах и технология производства | 10 |
| 1.3.2 Сырьевые материалы для производства пенобетона | 10 |
| 1.4 Основные требования к магнезиальному вяжущему | 15 |
| 1.5 Затворитель для ячеистых пенобетонов на магнезиальном вяжущем | 16 |
| 1.6 Стабилизация поризованной смеси кристаллическими затравками | 18 |
| 1.6.1 Использование затравок кристаллизации в портландцементе | 18 |
| 1.6.2 Использование затравок кристаллизации в магнезиальном вяжущем | 20 |
| ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ | 22 |
| 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ | 23 |
| 2.1 Исходные материалы | 23 |
| 2.1.1 Вяжущее | 23 |
| 2.1.2 Хлорид магния шестиводный технический (бишофит) | 23 |
| 2.1.3 Шлак никелевого производства | 24 |
| 2.1.4 Сульфат калия | 25 |
| 2.1.6 Пенообразователи | 27 |
| 2.1.7 Оксид магния | 27 |
| 2.2 Методы исследования | 28 |
| 2.2.1 Прочность на сжатие | 28 |
| 2.2.2 Теплопроводность | 29 |
| 2.2.3 Определение сорбционной влажности | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.4 Паропроницаемость | 30 |
| 2.2.5 Термический анализ..... | 31 |
| 3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ | 32 |
| 3.1 Разработка составов магниезиальных пенобетонов с низкой сорбционной влажностью | 32 |
| 3.2 Исследование фазового состава модифицированных магниезиальных пенобетонов | 45 |
| 4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ..... | 52 |
| 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ..... | 55 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 63 |

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Актуальность темы исследования

Исходя из данных официальной статистики в сегменте строительной отрасли, ввод общей площади жилых домов по материалам стен в Российской Федерации за 2019 год составил более 82 тысяч квадратных метров, что более чем на 6 тысяч квадратных метров превосходит показатели 2018 года. Рассматривая более подробно можно сказать, что рынок строительных материалов постепенно выходит на докризисные показатели 2014 года. Можно предположить, что при использовании более экономически и, что самое главное, энергетически эффективных материалов станет возможным добиться восстановления и прогрессивного роста в будущем отрасли конструкционных строительных материалов.

В качестве примера высокоэффективных конструкционных материалов может послужить разработка модифицированного ячеистого пенобетона на основе магнезиального вяжущего.

Для получения сырьевого материала для данного продукта используются вяжущие вещества, полученные методом обжига магнезийсодержащей породы при относительно низких температурах (до 800 °С), по сравнению с самым распространенным видом вяжущего – портландцементом (1450 °С) и обжигом керамики (около 1200 °С). Расходы топлива для поддержания технологически важных показателей температуры существенно различаются, что напрямую влияет как на экологическую обстановку посредством выбросов, так и на экономические характеристики конечного продукта. В качестве магнезийсодержащих пород, применяемых для получения магнезиального вяжущего, можно использовать распространённые и невостребованные отвалы доломитового щебня.

Магнезиальные вяжущие набирают проектную прочность в естественных условиях окружающей среды, что не подразумевает использование в технологической линии оборудования для ускоренного набора прочности.

В частности, магниальный ячеистый бетон не требует применения автоклавной обработки, что положительно сказывается на экономических показателях. Этот вид изделий относится к теплоизоляционным и теплоизоляционно-конструкционным материалам. Имея меньший коэффициент теплопроводности по сравнению с традиционными конструкционными материалами (кирпичная кладка, монолитные железобетонные конструкции, деревянные материалы) использование ячеистых бетонов не подразумевает монтаж дополнительной теплоизоляции. При условии климатических особенностей Российской Федерации, в частности низких температур на большей части территории применение данных материалов особенно актуально.

Исходя из перечисленного можно сделать вывод о практической пользе разработки магниального ячеистого бетона на магниальной основе. Полезные аспекты можно наблюдать как в экономическом плане благодаря решению проблемы доступности поризованных бетонов на широком потребительском рынке, так и экологическом в плане утилизации обширных отвалов доломитового сырья.

1.2 Общие сведения о ячеистых бетонах

Ячеистый бетон — искусственный строительный материал с распределенными по всему объему тела сферическими пустотами.

Согласно ГОСТ 25485 – 2019 ячеистые бетоны классифицируют по:

- по применению;
- по назначению;
- условиям твердения;
- виду вяжущего и кремнеземистых компонентов;
- способу порообразования.

По применению подразделяют на 2 группы: для монолитных конструкций, произведенных на строительных площадках и для сборных изделий, изготовленных на профильных заводах.

По назначению ГОСТ подразделяет на 3 группы, а именно:

- теплоизоляционные;
- конструкционные;
- конструкционно–теплоизоляционные.

Коэффициент теплопроводности показывает количество теплоты, которое проходит сквозь материал, имеющий толщину 1 м и площадь 1 м², за единицу времени (за час).

Теплоизоляционными бетонами являются те бетоны, которые имеют плотности от 200 кг/м³ до 500 кг/м³. По прочности в 28 суток имеют классы от В0,5 до В1,5. Теплоизоляционные бетоны служат для теплоизоляционной защиты стен, конструкций, если основное тело конструкции не позволяет обеспечить требуемые показатели теплопроводности.

Показатели конструкционных бетонов по плотности варьируются от 800 кг/м³ до 1000 кг/м³. Классы по прочности от В7,5 до В12,5. Данная группа бетонов применяется для постройки малоэтажных зданий и помещений до 3-х этажей, либо возведение стен на основе металлического, либо железобетонного каркаса неограниченной этажности.

Конструкционно–теплоизоляционным ячеистым бетонам присущи марки по плотности от 500 кг/м³ до 900 кг/м³. Классы по прочности от В1 до В10. Применяются они для возведение самонесущих перегородок в домостроении.

По условиям твердения бетоны подразделяют на твердеющие:

- в естественных условиях;
- в условиях тепловой обработки при атмосферном давлении (электропрогрев или пропаривание).

По виду вяжущих и кремнеземистых компонентов бетоны подразделяют на бетоны:

по виду основного вяжущего:

- на цементных вяжущих, в которых содержание портландцемента 50 % и более по массе;

- смешанных вяжущих, состоящих из портландцемента от 15 % до 50 % по массе, извести или шлака, или шлако–известковой смеси;
- шлаковых вяжущих, состоящих из шлака более 50 % по массе в сочетании с известью, гипсом или щелочью;
- зольных вяжущих, в которых содержание высокоосновных зол 50 % и более по массе;

По виду кремнеземистого компонента:

- на природных материалах-тонкомолотом кварцевом и других песках;
- вторичных продуктах промышленности — золе-уносе ТЭС, золе гидроудаления, вторичных продуктах обогащения различных руд, отходах ферросплавов и др.

По способу порообразования бетоны подразделяют:

- на газобетоны;
- пенобетоны;
- газопенобетоны.

Газобетон получают из смеси портландцемента, кремнеземистого компонента и газообразователя. Широкое применение в качестве газообразователя получила алюминиевая пудра, которая, реагируя с водным раствором гидроксида кальция, выделяет водород, вызывающий вспучивание цементного теста. Последнее, затвердевая, сохраняет пористую структуру.

Пенобетоны получают смешиванием цементного теста или раствора с устойчивой пеной. Пену получают взбиванием пенообразователя. Такая пена имеет устойчивую структуру, хорошо смешивается с цементным тестом и раствором, которые распределяются по пленкам, окружающим воздушные ячейки, и в этом положении затвердевают.

В газопенобетонах часть пор создается пенообразующими добавками, а часть газообразующими. При этом соотношение можно регулировать для получения различных свойств изделия, а точнее их регулирования.

1.3 Пенобетоны

1.3.1 Общие сведения о пенобетонах и технология производства

1.3.2 Сырьевые материалы для производства пенобетона

1.3.2.1 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 скотобоен. 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 сырьем 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 не выше 30 градусов. Если вода имеет более высокую температуру, начинаются процессы разложения пенообразователя.

СДО

– Смола древесная омыленная (СДО) традиционно используется в качестве универсального (пластифицирующего, воздухововлекающего, морозостойкого и антисептического) модификатора в процессе изготовления различных бетонов (лёгких и тяжёлых марок, полистиролбетона, пенобетона и пр.).

– Для изготовления пены обязательно иметь пеногенератор. Растворяется в воде без особых усилий, не создаёт комков и осадка, не засоряет пеногенератор.

– Кроме того, свойство этого пенообразователя таково, что он разбивает большие воздушные включения на множество мелких сферических. Пузырьки, размещаясь между зернами цемента и песка, снижают внутреннее трение в смеси, повышают ее подвижность. Следствием этого является повышенная удобоукладываемость смеси и предотвращение расслаиваемости.

– В качестве обязательного стабилизатора пены на СДО применяется 10 % молочко оксида кальция, вводимое в раствор пенообразователя с водой в соотношении 50:50.

– Омыленные жирные кислоты, входящие в состав СДО совместно с гидроксидом кальция, путем замещающих реакций по кальцию, переходят в водонерастворимые магниевые мыла, которые дополнительно укрепляют стенки пузырьков пены, происходит своего рода полимеризация.

– Из недостатков можно выделить резкий запах дегтя, сохраняющийся и в готовых изделиях из пенобетона.

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.

1.3.2.2 Вяжущие

Известь кальциевая

Качество извести и содержание в ней СаО 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 СаО + MgO не менее 70 %, это требование содержится так же и в СН 277.

Содержание пережженного вещества — не более 2 %. Это ограничение связано с тем, что при гидратации 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 [34]. Достойной альтернативой автоклавной обработке могут послужить вяжущие, обладающие способностью быстро набирать высокую прочность в нормальных условиях. Большинство таких вяжущих, представленных на 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 [35]. 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.

1.4 Основные требования к магнизиальному вяжущему

К магнизиальному 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 вяжущего 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 густоты, 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» [2] должна составлять:

- при изгибе в 28 суток твердения, не менее – 7 МПа;
- при сжатии – не менее, МПа:
 - через 1 сутки твердения – 10;
 - через 3 суток твердения – 30;
 - через 28 суток твердения – 40 [14].

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 % [3].

Затворять магниальное вяжущее необходимо не водой, а раствором хлорида магния или другими солями.

1.5 Затворитель для ячеистых пенобетонов на магниальном вяжущем

Согласно литературным данным, наибольшей прочности достигают магниальные композиции с использованием в качестве затворителя водного раствора хлорида магния (бишофита). Плавленый (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 не менее 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 получают из рапы (сгущенной испарением морской или озерной воды), из минерала карналлита, а также обработкой каустического магнезита соляной кислотой.

В России имеются крупные месторождения хлорида магния близ Волгограда (оз. Эльтон), в Алтайском крае (соленые озера Кулундинской степи – оз. Кучук, оз. Большое и Малое Яровое, оз. Малиновое и др.). Основными операциями в производстве хлорида магния из рапы являются предварительное упаривание – удаление большой массы посторонних веществ (оксида железа, углекислого кальция, гипса, поваренной соли) и окончательное упаривание [5].

Операция упаривания ведется в специальных котлах. Плавленный хлорид магния по своему химическому составу соответствует формуле: $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. В некоторых случаях, кроме плавленного, получают кристаллический хлорид магний. 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 и нерастворимый остаток – 1,5 % и также может применяться в качестве затворителя, но прочность магнезиального 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 магнезиального вяжущего водный раствор бишофита с плотностью от 1,20 до 1,26 г/см³ [6].

1.6 Стабилизация поризованной смеси кристаллическими затравками

1.6.1 Использование затравок кристаллизации в портландцементе

Вопросам теории гидратации и твердения вяжущих веществ посвящено значительное количество работ [21 – 27]. Одно из самых изучаемых и по сей день направлений относится к использованию добавок, влияющих на процессы структурообразования цементного камня. Известно, что на этот процесс активно влияют дисперсные минеральные материалы, как обладающие пуццолановой активностью, так и абсолютно инертные.

Согласно классификации [30] 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 [28]. 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 [29].

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.

Роль активных наполнителей в бетонных смесях наряду с химически инертными материалами выполняют и материалы, обладающие пуццолановой активностью (активные минеральные добавки). 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 [31]. 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 [32, 33].

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.

1.6.2 Использование затравок кристаллизации в магниальном вяжущем

Для ускорения роста кристаллогидратов магниального 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.

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

1. Основным материалом для возведения малоэтажных 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.

2. В качестве сырьевых материалов для ячеистых бетонов 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.

3. Повысить качество ячеистых бетонов, не прибегая к автоклавной обработке, можно используя вяжущие с быстрым набором прочности в нормальных условиях.

4. 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.

5. 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

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

2.1 Исходные материалы

2.1.1 Вяжущее

В работе использовали магниезиальное вяжущее на основе доломитовой породы Саткинского месторождения. Вяжущее получено обжигом при 650 °С с добавкой хлорид калия 4 % и обладает следующими основными свойствами:

- нормальная плотность 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 1 сутки твердения – 34,5 МПа; через 28 суток твердения – 97 МПа [14].

2.1.2 Хлорид магния шестиводный технический (бишофит)

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

Требования, предъявляемые к качеству бишофита, соответствуют ГОСТ 7759 – 73 «Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия» (таблица 1) [4].

Таблица 1 – 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 |

Окончание таблицы 1

| Наименование показателя | Требования по ГОСТ 7759 | Фактическое значение |
|---|------------------------------|----------------------|
| 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 °С;
- температура плавления: 714 °С;
- плотность: 1,59 г/см³;
- твердость: 1 – 2;
- сильно гигроскопичен;
- хорошо растворим в воде, растворяется в этиловом спирте [3].

Для подготовки затворителя использовали воду, соответствующую требованиям ГОСТ23732 – 2011 «Вода для бетонов и строительных растворов» [15]. Бишофит в необходимом количестве был полностью растворен в воде для каждого из замесов.

2.1.3 Шлак никелевого производства

Шлак никелевого производства использовали как компонент, понижающий сорбционную влажность. Показатель остатка на сите № 008 составлял не более 15 %. Химический состав шлака: Ni – 1,8 %, Co – 0,4 %, FeO – 64 %, SiO₂ – 28,3 %,

CaO – 2,0 %, MgO – 2,0 %, Al₂O₃ – 1,5 %. Использовался никелевый шлак компании «УфалейНикель».

2.1.4 Сульфат калия

В работе использовали сульфат калия ЧДА. Физико-химические показатели используемого реактива соответствовали требованиям и нормам, приведенным в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели сульфата калия

| Свойство | Показатель |
|--|------------|
| 1. Массовая доля сернокислого калия (K ₂ SO ₄), %, не менее | 98 |
| 2. Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более | 0,010 |
| 3. Массовая доля аммонийных солей (NH ₄), %, не более | 0,002 |
| 4. Массовая доля нитратов (NO ₃), %, не более | 0,002 |
| 5. Массовая доля хлоридов (Cl), %, не более | 0,0010 |
| 6. Массовая доля железа (F*), %, не более | 0,0005 |
| 7. Массовая доля мышьяка (As), %, не более | 0,00010 |
| 8. Массовая доля натрия (Na), %, не более | 0,15 |
| 9. Массовая доля кальция (Ca), %, не более | 0,010 |
| 10. Массовая доля тяжелых металлов (Pb), %, не более | 0,0010 |
| 11. pH раствора препарата с массовой долей 5 % | 5,5 – 8,0 |

Данный реактив использовали при исследовании сорбционной влажности ячеистых бетонов для поддержания относительной влажности воздуха 95,0 % в лабораторном эксикаторе.

2.1.5 Натрий хлористый

В работе использовали натрий хлористый ЧДА. Физико-химические показатели используемого реактива соответствовали требованиям и нормам, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические показатели сульфата калия

| Свойство | Показатель |
|--|----------------|
| 1. Массовая доля сернокислого калия (NaCl), %, не менее | 99,9 |
| 2. Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более | 0,005 |
| 3. Массовая доля общего азота, %, не более | 0,0010 |
| 4. Массовая доля йодидов (I), %, не более | 0,001 |
| 5. Массовая доля бромидов (Br), %, не более | Не нормируется |
| 6. Массовая доля сульфатов (SO ₄), %, не более | 0,002 |
| 7. Массовая доля фосфатов (PO ₄), %, не более | Не нормируется |
| 8. Массовая доля бария (Ba), %, не более | 0,003 |
| 9. Массовая доля железа (Fe), %, не более | 0,0002 |
| 10. Массовая доля тяжелых металлов (Pb), %, не более | 0,0005 |
| 11. pH раствора препарата с массовой долей 5 % | 5,0 – 8,0 |

Данный реактив использовали при исследовании сорбционной влажности ячеистых бетонов для поддержания относительной влажности воздуха 75,5 % в лабораторном эксикаторе.

2.1.6 Пенообразователи

В работе использовали протеиновый пенообразователь. Физико-химические показатели используемого реактива соответствовали требованиям и нормам, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики протеинового пенообразователя

| Наименование показателя | Норма |
|--|---------------------------------------|
| 1. Внешний вид при (20 – 25) °С | Однородная жидкость коричневого цвета |
| 2. Плотность при 20 °С, кг/м ³ | 1130 – 1160 |
| 3. Водородный показатель (рН) пенообразователя | 6,5 – 8,0 |

Расход пенообразователя составляет 2 % от количества используемой воды.

2.1.7 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. Вводится в виде водного раствора 10 %, 20 %, 30 % и 40 % концентраций.

– в качестве обязательного стабилизатора для пенообразователя СДО. Вводится в виде 10 % молочка оксида магния, вводимого в раствор пенообразователя с водой в соотношении 1:1. Омыленные жирные кислоты, входящие в состав СДО совместно с гидроксидом магния, путем замещающих реакций по магнию, переходят в водонерастворимые кальциевые мыла, которые

дополнительно укрепляют стенки пузырьков пены – происходит своего рода полимеризация.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Прочность 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, 3 сутки и 7 суток. Испытания на 28 суток не проводились, поскольку процесс набора прочности магнезиального вяжущего происходит быстрее, чем у бетонов на цементном вяжущем. На 7 суток прочность достигает 90 % от марочной.

Испытания на прочность проводились на образцах кубиках с высотой граней 10 см, согласно ГОСТ 10180 – 2012. Для испытаний были подготовлены по 4 образца на каждые испытания. Подготовка образцов проводилась согласно ГОСТ 28570 – 90. Прочность бетона в серии образцов определялась как среднее арифметическое по 3-м наибольшим по прочности образцам.

Обработка результатов проводилась согласно ГОСТ 28570 – 90. Прочность бетона вычисляли по формуле:

$$R_{\text{обр}} = \frac{F}{A}, \quad (1)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

A – площадь рабочего сечения образца, мм².

Так же для приведения прочности бетона в испытанном образце к прочности в образце базового размера применяется перерасчет по следующей формуле:

$$R = R_{\text{обр}} \cdot \alpha, \quad (2)$$

где α – масштабный коэффициент, учитывающий размеры испытанных образцов. ($\alpha = 0,95$)

2.2.2 Теплопроводность

Теплопроводность — это количественная характеристика способности материала передавать тепловую энергию от более нагретых частей к менее нагретым. Определяется коэффициентом теплопроводности. Характеристика равная количеству теплоты, пройденному через испытательный образец единичной площади и длины за единицу времени при единичной разнице температур. (Вт/(м·°С)).

В данной работе показатель теплопроводности определялся при помощи прибора «ИТС – 1». Данный прибор предназначен для измерения теплопроводности и теплового сопротивления строительных и теплоизоляционных материалов, в соответствии с ГОСТ 7076 – 99.

Принцип действия прибора основан на создании проходящего теплового потока через тело исследуемого материала. По величине этого потока, температуре противоположных граней образца и его толщине вычисляется теплопроводность образца λ по формуле:

$$\lambda = \frac{d \cdot q}{\Delta T}, \quad (3)$$

где d – толщина образца, м;

q – плотность теплового потока, Вт/м²;

ΔT – разность температур между противоположными гранями образца, °С.

Образец должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда, с размерами лицевых граней 150*150 мм. Толщина в пределах 10...25 мм.

2.2.3 Определение сорбционной влажности

Сорбционная влажность – способность строительного материала поглощать пары воды из окружающего воздуха. В числовом эквиваленте сорбционная влажность представляет собой количество поглощенной воды в теле испытуемого материала сразу после окончания процесса испытания. Для определения данного показателя использовались насыщенный раствор хлористого натрия для поддержания влажности воздуха 75 % и хлористый калий для влажности 97 %. Показатель сорбционной влажности W_c вычисляется с точностью до 0,1 % по формуле:

$$W_c = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100, \quad (4)$$

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.

2.2.4 Паропроницаемость

Паропроницаемость – характеристика, показывающая количество водяного пара в миллиграммах, проходящего за 1 час 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. Обработку результатов испытаний проводят путем расчета плотности потока водяного пара, пройденного через образец g , мг / (ч · м²) по формуле:

$$g = \frac{\Delta m}{\Delta \tau \cdot A}, \quad (5)$$

где Δm – изменение массы испытательного сосуда с образцом за интервал времени $\Delta \tau$, мг;

$\Delta \tau$ – интервал времени между двумя последовательными взвешиваниями, ч;

A – площадь рабочей поверхности образца, через которую проходит поток водяного пара, m^2 .

2.2.5 Термический анализ

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

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

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

Причинами экзотермического эффекта могут быть:

- реакция окисления;
- реакция образования новых соединений;
- полиморфные превращения, сопровождающиеся переходом неустойчивой при данной температуре модификации в устойчивую;
- переход из аморфного состояния в кристаллическое [39].

Получение кривых потери массы вещества ТГ при непрерывном нагревании осуществляется при помощи динамического взвешивания. Исследования проводили на дериватографе системы “Luxx STA 409” немецкой фирмы “Netsch”. Режим съемки и условия проведения испытаний назначались по данным литературных источников [54]. Скорость подъема температуры в печи – $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, максимальная температура нагрева – $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для проведения испытания использовали платиновые тигли, нагрев проводили в среде азота.

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Разработка составов магниезиальных пенобетонов с низкой сорбционной влажностью

В предыдущих исследованиях была установлена целесообразность введения добавки суспензии оксида магния в качестве активатора процессов гидратации теста хлормagneзиального вяжущего в технологии магниезиальных пенобетонов. Добавка-активатор ускоряет темп образования зародышей фаз магниезиального камня, в том числе основной фазы – пентаоксигидрохлорида магния.

Также в ходе данных исследований была подобрана плотность затворителя ($1,22 \text{ г/см}^3$) при которой получаемый на его основе хлормagneзиальный композит обладает наивысшими прочностными характеристиками. Получаемый с применением перечисленных модификаций пенобетон имеет более высокие прочностные показатели в более короткие сроки с момента затвердевания.

Почти все эксплуатационные характеристики такого пенобетона соответствуют требованиям, предъявляемым государственными стандартами к ячеистым бетонам неавтоклавного твердения.

Единственным исключением на данный момент являются показатели сорбционной влажности при 75 и 97 % влажности окружающей среды. Данная особенность является характерной для изделий получаемых на основе магниезиальных вяжущих, обладающих высокой гигроскопичностью. Изделия с ненадлежащим уровнем сорбционной влажности недопустимо применять для сооружений конструкций не только внешних, но и даже внутренних перегородок.

Для понижения снижения гигроскопичности камня вяжущего и, соответственно, понижения сорбционной влажности разрабатываемых пенобетонов было принято решение использовать метод, применяемый ранее для снижения гигроскопичности магниезиальных газобетонов, получаемых на основе порошка магнезитового каустического. Данный метод заключается во введении в хлормagneзиальное тесто железосодержащих добавок, адсорбирующих на поверхности магниезиальных соединений и снижающих их поверхностный заряд. Главным отличием разрабатываемого в данном исследовании материала является

применяемый для его получения тип магнезиального вяжущего – на основе доломитов. Такое вяжущее имеет значительно более низкое содержание активного оксида магния в составе и приблизительно на 80 % состоит из инертного наполнителя карбоната кальция. Таким образом, нельзя однозначно утверждать, что процессы структурообразования и эффективность железосодержащих добавок будет аналогична проводим ранее исследованиям.

Для выявления работоспособности данного метода, а также для установления наиболее эффективных дозировок был спланирован и приведен двухфакторный эксперимент. В качестве факторов были выбраны количество железосодержащей добавки в процентах от массы вяжущего и концентрация добавки-активатора суспензии оксида магния в процентах. Матрица эксперимента приведена в таблице 5. Адекватность построенных моделей определяли по критерию Фишера.

Таблица 5 – Матрица эксперимента

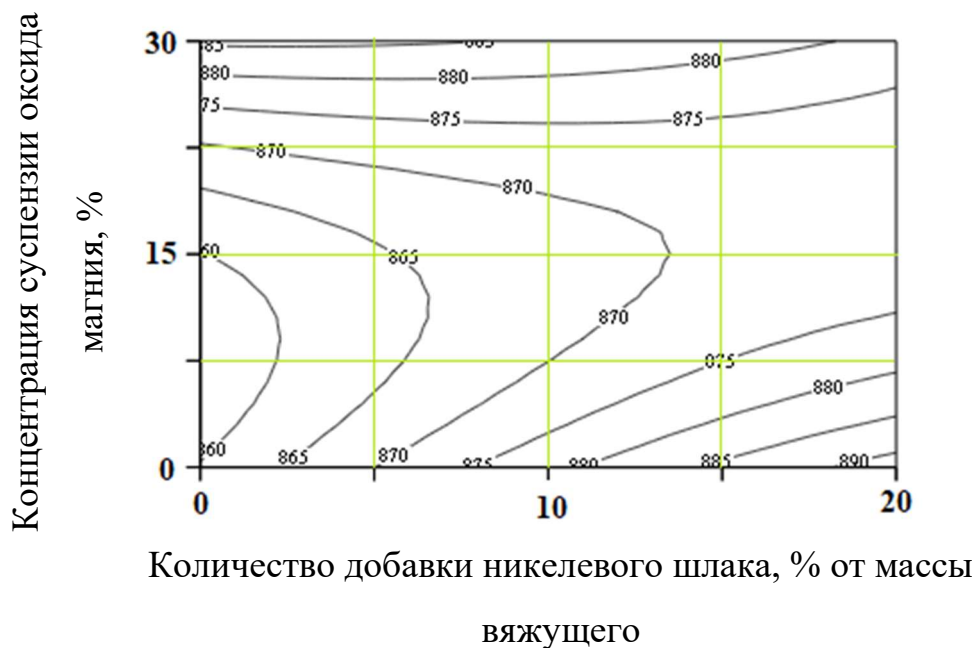
| Количество никелевого шлака, г/см ³ | | Концентрация добавки, % | | Сорбционная влажность, % при влажности воздуха | | Плотность пенобетона через 28 сутки, кг/м ³ | Прочность при сжатии, МПа | |
|--|-------|-------------------------|-------|--|------|--|---------------------------|----------|
| | | | | 75 % | 97 % | | 3 сутки | 28 сутки |
| код | знач. | код | знач. | 75 % | 97 % | | | |
| -1 | 0 | -1 | 0 | 16,1 | 24,1 | 870 | 2,1 | 3,2 |
| 0 | 10 | -1 | 0 | 10,9 | 15,8 | 874 | 2,9 | 4,1 |
| +1 | 20 | -1 | 0 | 11,1 | 16,2 | 887 | 2,7 | 3,9 |
| -1 | 0 | 0 | 15 | 15,8 | 23,9 | 845 | 3,1 | 4,4 |
| 0 | 10 | 0 | 15 | 10,1 | 15,4 | 868 | 4,8 | 5,1 |
| +1 | 20 | 0 | 15 | 10,7 | 15,9 | 887 | 4,6 | 4,9 |

Окончание таблицы 5

| Количество никелевого шлака, г/см ³ | | Концентрация добавки, % | | Сорбционная влажность, % при влажности воздуха | | Плотность пенобетона через 28 сутки, кг/м ³ | Прочность при сжатии, МПа | |
|---|-------|----------------------------|-------|--|------|--|------------------------------|----------|
| | | | | 75 % | 97 % | | 3 сутки | 28 сутки |
| код | знач. | Код | знач. | | | | | |
| -1 | 0 | +1 | 30 | 15,5 | 22,8 | 891 | 2,9 | 3,2 |
| 0 | 10 | +1 | 30 | 10,9 | 16,3 | 889 | 3,2 | 4,0 |
| +1 | 20 | +1 | 30 | 11,2 | 16,6 | 869 | 3,0 | 3,7 |

Графическая зависимость плотностей образцов пенобетонов, получаемых с различной дозировкой добавки никелевого шлака и суспензии оксида магния приведена на рисунке 1.

Из рисунка видно, что наименьшие показатели плотности имеют образцы, получаемые при низких дозировках никелевого шлака и низкой концентрации суспензии оксида магния. Образцы, получаемые при наибольшей концентрации суспензии оксида магния имеют наиболее высокие показатели плотности практически вне зависимости от дозировки добавки никелевого шлака, так же повышенные показатели прочности имеют образцы получаемые при наибольшей дозировке никелевого шлака и небольших (до 10 – 13 %) концентрациях суспензии оксида магния.

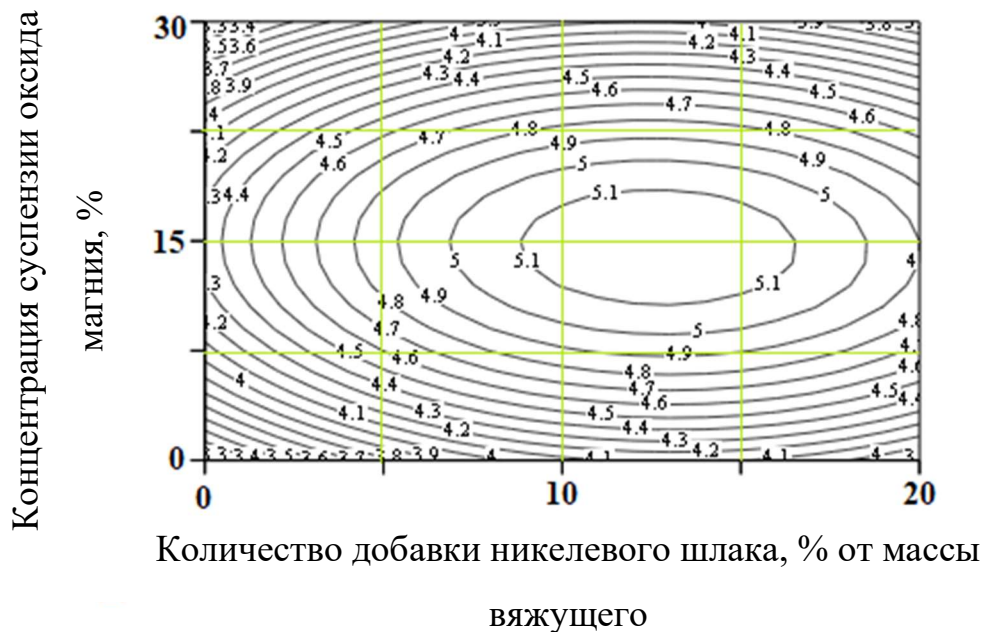


$$P = 868,11 + 6,17x - 3y - 2,17x^2 + 13,33y^2 - 9,75xy,$$

Рисунок 1 – Зависимость плотности пенобетона от количества добавки никелевого шлака, % от массы вяжущего и концентрации суспензии оксида магния, % ($F_0 = 0,21 < F_{\text{табл}} = 5,13$)

В целом, по представленным данным можно сделать вывод, что плотности образцов имеют единый порядок, так как показатели плотности отличаются не более чем на 5 %, что сопоставимо с допустимой погрешностью. Также по полученным значениям, всем предложенным в исследовании составам может быть присвоена марка по плотности D900.

На рисунке 2 приведена графическая зависимость прочностных характеристик образцов пенобетонов в возрасте 28 суток.

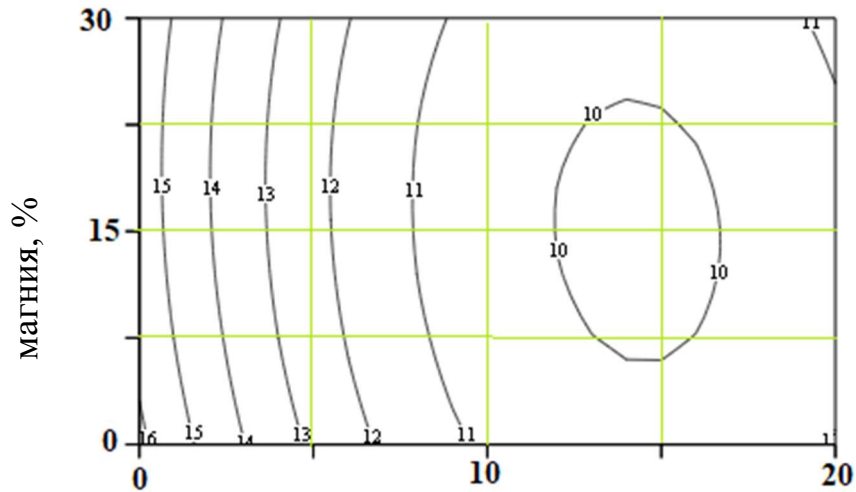


$$R = 5,14 + 0,28x - 0,05y - 0,52x^2 - 1,12y^2 - 0,05xy,$$

Рисунок 2 – Зависимость прочности пенобетона, в возрасте 28 суток, от количества добавки никелевого шлака, % от массы вяжущего и концентрации суспензии оксида магния, % ($F_0 = 0,02 < F_{\text{табл}} = 5,13$)

Из представленного к анализу рисунка четко видна область наивысших значений прочностей, лежащая в пределах от ~ 9 до ~ 16 % для дозировки никелевого шлака от массы вяжущего, и в пределах ~ 13 до ~ 16 % для концентрации суспензии оксида магния. Наивысшая прочность исследуемых образцов составила 5,1 МПа. В значительной мере прочность образцов снижается при повышении и понижении концентрации вводимой в систему суспензии оксида магния и при снижении дозировки никелевого шлака от указанных выше предельных значений. Повышение дозировки никелевого шлака сверх предельного значения влияет на понижение прочности менее выражено.

Концентрация суспензии оксида

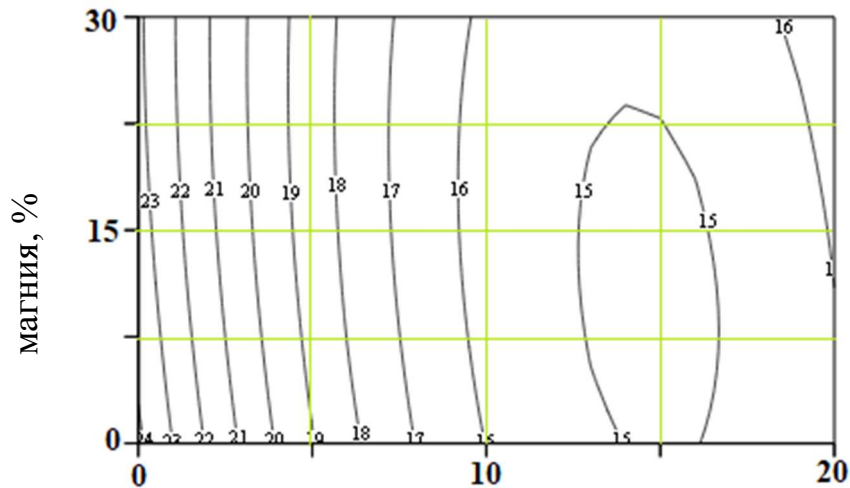


Количество добавки никелевого шлака, % от массы
вяжущего

$$W = 10,36 - 2,4x - 0,08y + 2,77x^2 + 0,18y^2 - 0,42xy$$

Рисунок 3 – Зависимость сорбционной влажности пенобетона при влажности среды 75%, от количества добавки никелевого шлака, % от массы вяжущего и концентрации суспензии оксида магния, % ($F_0 = 0,67 < F_{\text{табл}} = 5,13$)

Концентрация суспензии оксида



Количество добавки никелевого шлака, % от массы
вяжущего

$$W = 15,68 - 3,68x - 0,07y + 4,08x^2 + 0,43y^2 - 0,23xy$$

Рисунок 4 – Зависимость сорбционной влажности пенобетона при влажности среды 97,5%, от количества добавки никелевого шлака, % от массы вяжущего и концентрации суспензии оксида магния, %

На рисунках 3 – 4 представлены графические зависимости изменения сорбционной влажности при 75 и 97,5 % относительной влажности окружающей среды. В целом графики имеют сходный характер. Понижение сорбционной влажности образцов происходит при повышении дозировки вводимого в состав пенобетона никелевого шлака до определенного значения, при этом оно практически не зависит от концентрации суспензии оксида магния. Области оптимальных значений также расположены приблизительно в одном интервале от 13 до 16 % для дозировки никелевого шлака от массы вяжущего. Оптимальная концентрация суспензии оксида магния несколько отличается для различных показателей влажности окружающей среды, поэтому выделим область оптимальных значений совместив графики (рисунок 5).

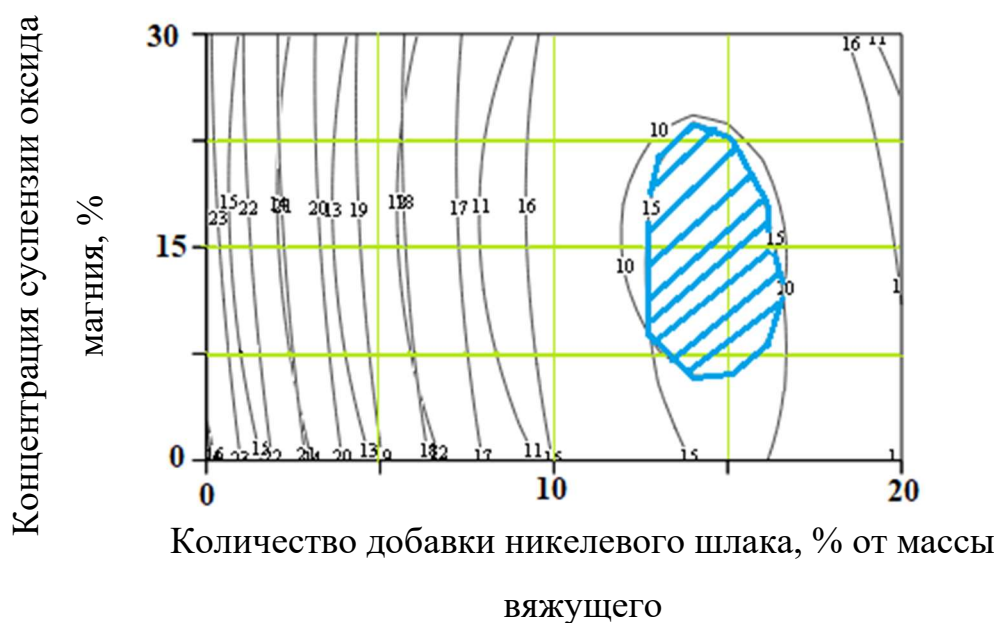


Рисунок 5 – Область оптимальных показателей сорбционной влажности пенобетона при влажности среды 75 и 97,5 % в зависимости от количества добавки никелевого шлака, % от массы вяжущего и концентрации суспензии оксида магния, %

Таким образом для получения пенобетонных изделий с наименьшими показаниями сорбционной влажности возможно при использовании дозировок добавки никелевого шлака в пределах от 13 до 16 % и концентрации суспензии оксида магния в пределах от 9 до 20 %.

Учитывая данные, полученные при испытании образцов пенобетонов на прочность, выведем оптимальное соотношение добавок для получения пенобетона с оптимальными прочностными и влажностными характеристиками.

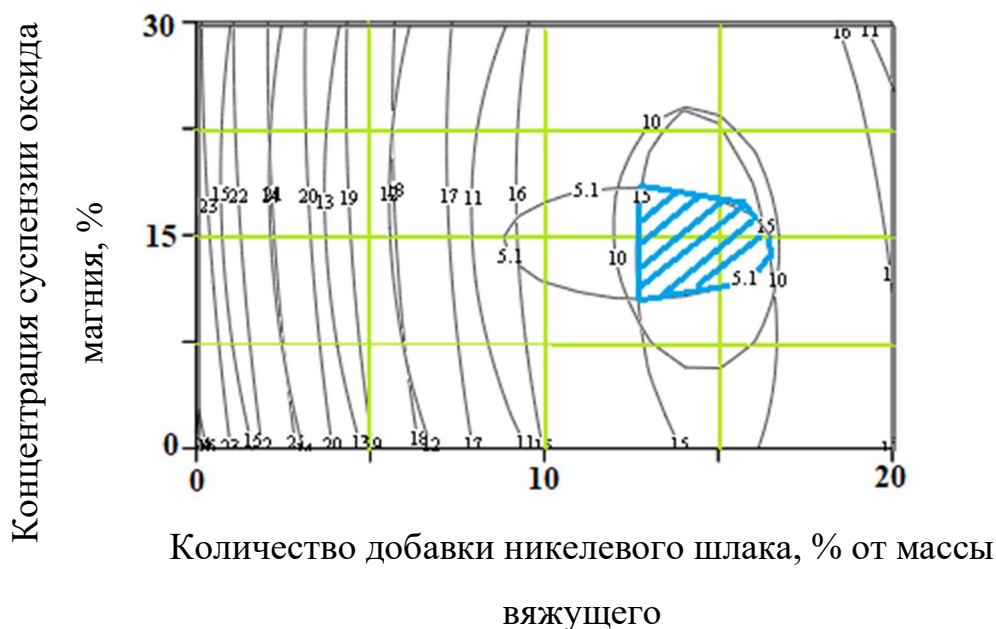


Рисунок 6 – Область оптимальных показателей прочности при сжатии и сорбционной влажности пенобетона при влажности среды 75 и 97,5 % в зависимости от количества добавки никелевого шлака, % от массы вяжущего и концентрации суспензии оксида магния, %

Таким образом, наиболее эффективной комбинацией добавок будет являться 15 % концентрация суспензии оксида магния, добавляемая в пропорции 50/50 с раствором затворителя и добавление 15 % никелевого шлака от массы вяжущего.

Так как полученные в ходе эксперимента показатели дозировки добавок являются расчетными, провели контрольный эксперимент с использованием оптимальных параметров. Для образцов пенобетонов исследовали плотность, прочность при сжатии, сорбционную влажность при 75 и 97 % влажности, а также теплопроводность и паропроницаемость. Результаты эксперимента приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные и фактические показатели разработанного пенобетона

| Показатель | Расчетная величина | Фактическая величина |
|---|--------------------|----------------------|
| Плотность | 873 | 881 |
| Марка по плотность | D900 | D900 |
| Прочность при сжатии в 28 сутки | 5,1 | 5,3 |
| Сорбционная влажность при 75 % влажности окружающей среды | 10 | 10,1 |
| Сорбционная влажность при 97,5 % влажности окружающей среды | 15 | 14,9 |
| Паропроницаемость | – | 0,12 |
| Теплопроводность | – | 0,22 |

3.1.1 Выявление возможной ошибки эксперимента

Для определения физико-механических показателей модифицированного пенобетона было испытано 6 образцов на определение средней плотности и прочности. Показатели по плотности и прочности приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Показатели по плотности и прочности

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R _{сж} | 5,1 | 5,2 | 5,6 | 5,2 | 5,2 | 5,5 |
| Кг/м ³ | 870 | 880 | 892 | 883 | 872 | 890 |

Среди повторов опыта могут быть результаты с крайне различными показателями. Для выявления достоверности данных результатов нужно определить, является ли «выдающиеся» показатели грубой ошибкой эксперимента.

Грубая ошибка определяется сравнением табличного критерия максимального отклонения R_{\max} (Таблица 8) с его расчетным значением $R_{\text{расч}}$:

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i_{max}}|}{S_{Yi}}, \quad (6)$$

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

Таблица 8 – Значение критерия максимального отклонения R_{max}

| n | Уровень значимости q | | | | n | Уровень значимости q | | | |
|----|----------------------|------|-------|------|----|----------------------|------|-------|------|
| | 0.10 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | | 0.10 | 0.05 | 0.025 | 0.01 |
| 3 | 1.41 | 1.41 | 1.41 | 1.41 | 15 | 2.33 | 2.49 | 2.64 | 2.80 |
| 4 | 1.65 | 1.69 | 1.71 | 1.72 | 16 | 2.35 | 2.52 | 2.67 | 2.84 |
| 5 | 1.79 | 1.87 | 1.92 | 1.96 | 17 | 2.38 | 2.55 | 2.70 | 2.87 |
| 6 | 1.89 | 2.00 | 2.07 | 2.13 | 18 | 2.40 | 2.58 | 2.73 | 2.90 |
| 7 | 1.97 | 2.09 | 2.18 | 2.27 | 19 | 2.43 | 2.60 | 2.75 | 2.93 |
| 8 | 2.04 | 2.17 | 2.27 | 2.37 | 20 | 2.45 | 2.62 | 2.78 | 2.96 |
| 9 | 2.10 | 2.24 | 2.35 | 2.46 | 21 | 2.47 | 2.64 | 2.80 | 2.98 |
| 10 | 2.15 | 2.29 | 2.41 | 2.54 | 22 | 2.49 | 2.66 | 2.82 | 3.01 |
| 11 | 2.19 | 2.34 | 2.47 | 2.61 | 23 | 2.50 | 2.68 | 2.84 | 3.03 |
| 12 | 2.23 | 2.39 | 2.52 | 2.66 | 24 | 2.52 | 2.70 | 2.86 | 3.05 |
| 13 | 2.26 | 2.43 | 2.56 | 2.71 | 25 | 2.54 | 2.72 | 2.88 | 3.07 |
| 14 | 2.30 | 2.46 | 2.60 | 2.76 | | | | | |

Если выполняется неравенство $R_{расч} \geq R_{max}$, то рассматриваемый результат должен быть исключен из анализа. После исключения результата проводится повторный анализ на наличие дальнейших грубых ошибок.

Среднее значение прочности модифицированного пенобетона:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i = \frac{5,1 + 5,2 + 5,6 + 5,2 + 5,2 + 5,5}{6} = 5,3$$

Среднее значение плотности модифицированного пенобетона:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i = \frac{870 + 880 + 892 + 883 + 872 + 890}{6} = 881$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата прочности и $R_{расч}$:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,2}{5}} = 0,2$$

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i_{max}}|}{S_{Y_i}} = \frac{|5,5 - 5,3|}{0,2} = 1,5$$

Среднеквадратическое отклонение единичного результата плотности и $R_{расч}$:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{408,8}{5}} = 9,04$$

$$R_{расч} = \frac{|\Delta Y_{i_{max}}|}{S_{Y_i}} = \frac{|870 - 881|}{9,04} = 1,23$$

По табл. 8 при $q = 0,05$ $R_{макс} = 2,29$, что меньше $R_{расч}$ в обоих экспериментах, значит результаты эксперимента не содержат грубых ошибок.

Коэффициент вариации измеряемого параметра определяется по формуле:

$$V_p = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{Y}} * 100\% \quad (7)$$

Коэффициент вариации результатов прочности:

$$V_p = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{Y}} * 100\% = \frac{0,2}{5,3} * 100\% = 3,77\%$$

Коэффициент вариации результатов плотности:

$$V_p = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{Y}} * 100\% = \frac{9,04}{881} * 100\% = 1,02\%$$

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

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

Или

$$|Y - \bar{Y}| < \varepsilon \quad (9)$$

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

$$\varepsilon_{(Y_i)} = t_{(P;f)} \cdot S_{(Y_i)} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{(Y)} = t_{(P;f)} \cdot S_{(Y)} \quad (11)$$

Критерий Стьюдента $t_{(P;f)}$ выбирается из таблицы 9 в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы f – параметра, связанного с числом измерений неравенством $f = n - 1$.

Таблица 9 – Значение критерия Стьюдента $t_{(P;f)}$

| Число степеней свободы F | Уровень значимости q | | Число степеней свободы f | Уровень значимости q | |
|-------------------------------|----------------------|-------|-------------------------------|----------------------|------|
| | 0,05 | 0,01 | | 0,05 | 0,01 |
| 1 | 12,71 | 63,66 | 11 | 2,20 | 3,11 |

Окончание таблицы 9

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

Таким образом величина критерия Стьюдента при степени свободы $f=5$ и принятых уравнениях значимости 0,05 составляет:

$$t_{(0,05;5)} = 2,57;$$

Доверительная ошибка среднего значения для прочности составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{y})} = 2,57 \cdot 0,2 = 0,514 \text{ кг/м}^3$$

Доверительная ошибка среднего значения для плотности составляет:

$$\varepsilon_{(\bar{y})} = 2,57 \cdot 9,04 = 23,23 \text{ МПа}$$

Таким образом, доверительные значения прочности магниального пенобетона в данной серии экспериментов с надежностью 95 % находятся в

пределах от 4,786 МПа до 5,814 МПа, а для плотности от 857,77 кг/м³ до 904,23 кг/м³.

Класс по прочности разработанных модифицированных пенобетонов:

$$B_{\text{норм}} = \frac{R_{\text{ср}}}{K_t} = \frac{5.3}{1.43} = 3.71 \text{ МПа} \quad (12)$$

Следовательно, разработанный модифицированный пенобетон соответствует классу по прочности В3,5.

3.2 Исследование фазового состава модифицированных магниезиальных пенобетонов

Полученные при разработке составов модифицированных магниезиальных пенобетонов данные показали, что введение в их состав никелевого шлака и суспензии оксида магния определенных концентраций в различной мере оказывают влияние на физико-механические характеристики готовых изделий.

Выясним причины изменения данных характеристик изучив фазовый состав модифицированных и бездобавочных композитов. Для определения фазового состава использовали перекрестный анализ посредством рентгенографии и дериватографии.

Для установления факта присутствия определенных фаз в камне пенобетона использовали рентгенографический анализ. На рисунках 7 – 9 приведены рентгенограммы образцов пенобетонов, полученных с применением никелевого шлака в присутствии суспензии оксида магния, только при использовании суспензии оксида магния и без каких-либо добавок вообще.

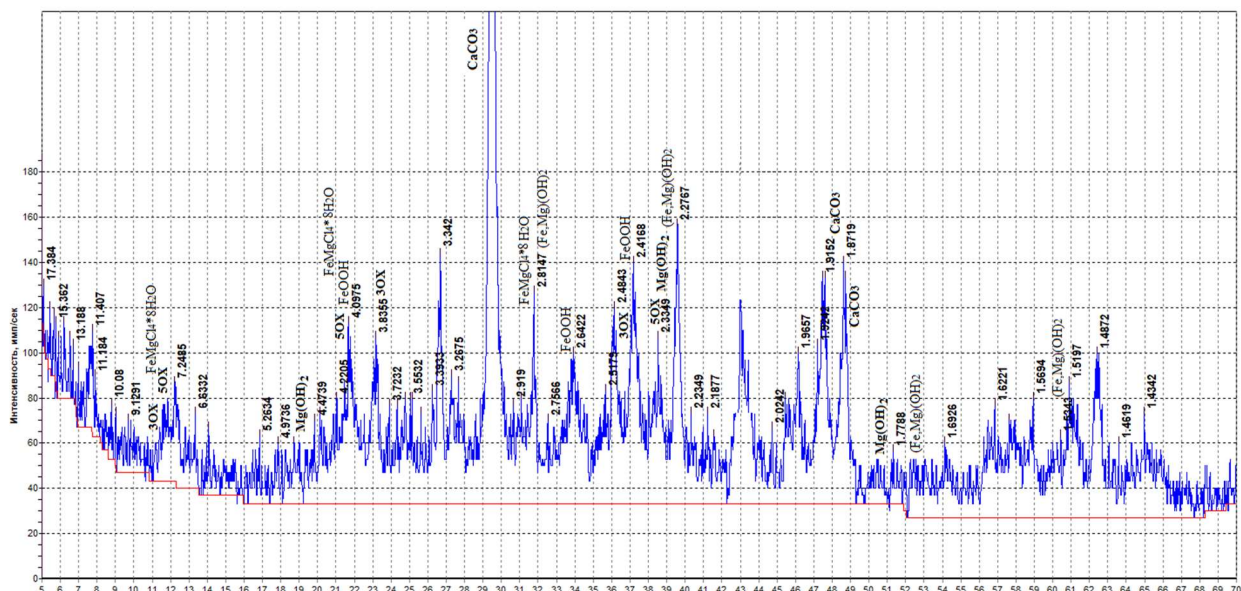


Рисунок 9 – Рентгенограмма образца пенобетона, полученного с использованием добавки суспензии оксида магния 15% концентрации и добавкой никелевого шлака

Результаты обработки рентгенограмм приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Фазовый состав исследуемых образцов модифицированного пенобетона

| Фаза | Углы | Без добавок | С добавкой суспензии оксида магния | С добавкой суспензии оксида магния и никелевого шлака |
|---|-------------------------------|-------------|------------------------------------|---|
| Карбонат кальция CaCO_3 | 1,912; 3,029; 1,869; 1,044 | + | + | + |
| Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ | | + | + | – |
| Пентагидрооксихлорид магния | 2,39; 7,7; 4,17, | + | + | + |

Окончание таблицы 10

| Фаза | Углы | Без добавок | С добавкой суспензии оксида магния | С добавкой суспензии оксида магния и никелевого шлака |
|--------------------------------|---------------------------|-------------|------------------------------------|---|
| Триоксигидрохлорид магния | 2,46; 8,3; 3,88 | + | + | + |
| Гидроксид магния $Mg(OH)_2$ | 2,365; 4,77; 1,79 | + | + | + |
| Гетит $FeOOH$ | 2,45; 4,18; 2,69 | – | – | + |
| Амакинит $(Mg,Fe)(OH)_2$ | 2,33; 1,728, 1,53; 2,8 | – | – | + |
| $FeMgCl_4 \cdot 8H_2O$ | 8,337; 2,819; 4,149 | – | – | + |

Во всех пробах образцов пенобетонов наиболее интенсивный пик принадлежит карбонату кальция, так как за основу пенобетонов было взято вяжущее на основе доломитов, содержащее в себе приблизительно 80% инертной карбонатной составляющей. Так же заметны небольшие пики доломита в образцах, полученных без добавки никелевого шлака.

Пики, соответствующие основным минералам магнезиального камня, присутствуют во всех анализируемых пробах. На рентгенограмме бездобавочного образца они выражены наименее интенсивно. Добавка никелевого шлака позволяет получать новые фазовые железо-магниевые комплексы – $(Mg,Fe)(OH)_2$ и $FeMgCl_4 \cdot 8H_2O$, а также минерал гетит ($FeOOH$), что подтверждает способность ионов железа встраиваться в структуру магниевых минералов. Согласно известному механизму, ионы железа снижают поверхностный заряд

хлормagneзиальных фаз магнезиального камня, тем самым снижая гигроскопичность и сорбционную влажность композитов на его основе.

Для подтверждения результатов рентгенографического анализа использовали дифференциально-термический анализ, чтобы установить наличие потерь массы, соответствующих термическим эффектам установленных ранее фаз. Используемые в эксперименте дериватограммы приведены на рисунках 10 – 12.

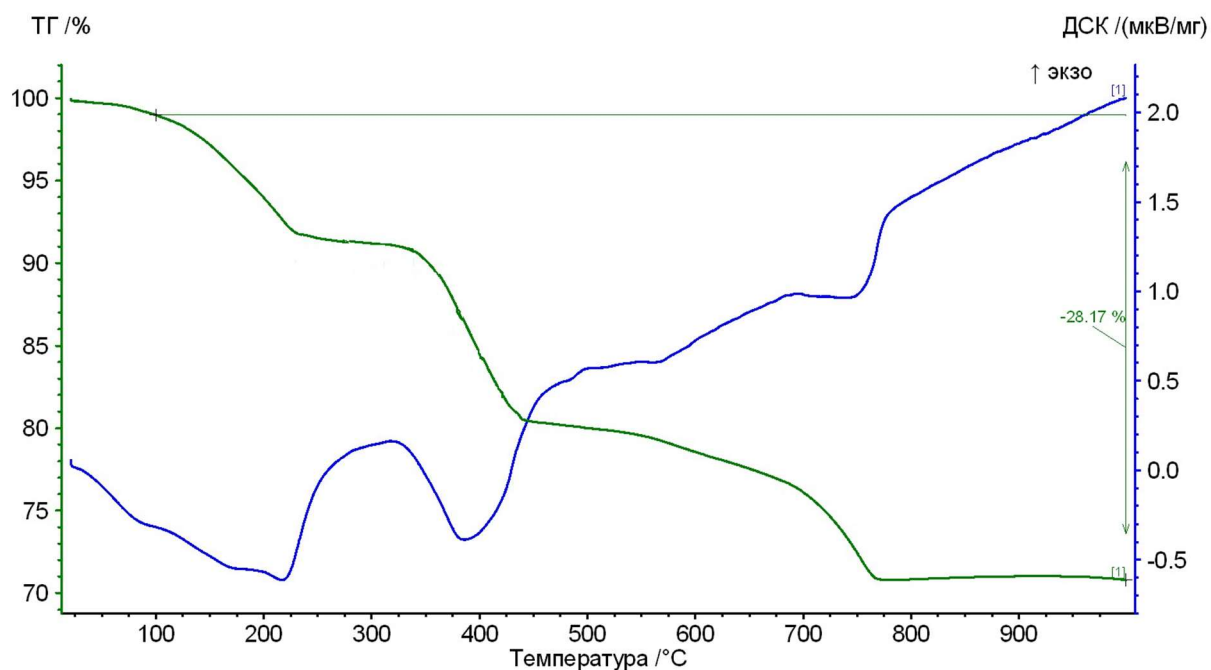


Рисунок 10 – Дериватограмма образца пенобетона, полученного без применения модифицирующих добавок

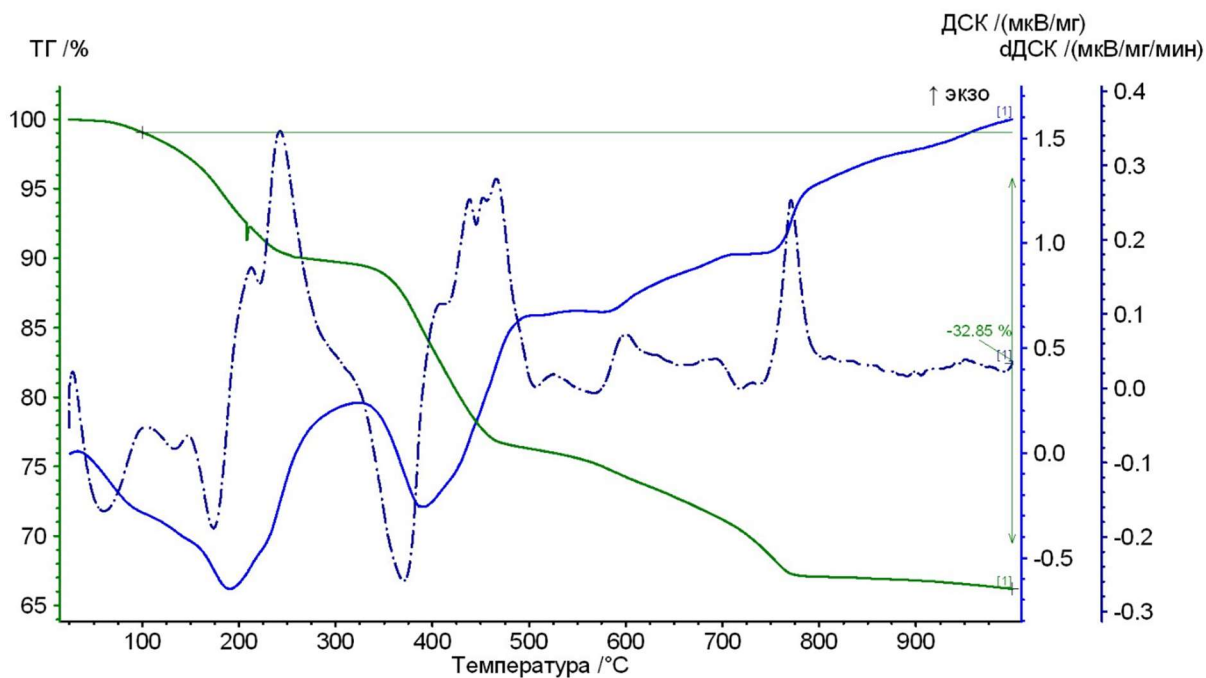


Рисунок 11 – Дериватограмма образца пенобетона, полученного с использованием добавки суспензии оксида магния 15 % концентрации

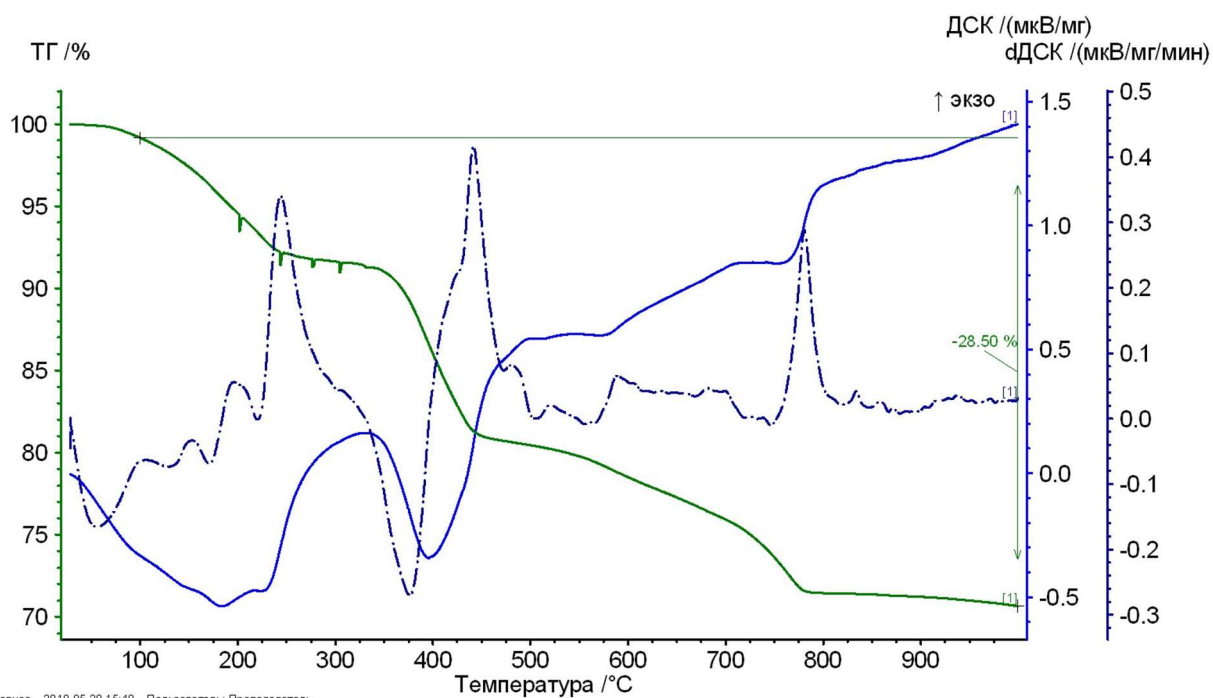


Рисунок 12 – Дериватограмма образца пенобетона, полученного с использованием добавки суспензии оксида магния 15 % концентрации и добавкой никелевого шлака

Дериватограммы анализируемых образцов в целом так же имеют схожий характер, так как температурные интервалы потери массы у основных практически магниевых минералов практически накладываются друг на друга. Определить

разность в фазовых составах приведенных образцов возможно по характеру кривой ДСК на интервале температур от 100 до 300 градусов Цельсия. Именно в этом интервале происходит ступенчатая дегидратация как триоксихлорида, так и пентагидрооксихлорида магния. По отличительным особенностям эндотермических пиков можно сделать вывод о том, что количество содержащихся в пробах три-и пентагидрооксихлорида различно.

4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

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 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 магния, 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 магнийсодержащие 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 водянопрозрачные. Установлено, что бишофит содержит в своем составе несколько десятков микроэлементов, концентрация некоторых приближается к промышленно значимой. Бишофит крайне гигроскопичен (способен поглощать влагу и растворяться в воде).

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 [11]. 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 [12, 13, 14]. 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 [13].

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 11 – 16.

Таблица 11 – Стоимость сырьевых материалов и энергоносителей

| Наименование | Единица измерения | Цена, руб., с НДС |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| Доломитовое вяжущее | Т | 1175 |
| Бишофит | Т | 7 500 |
| Оксид магния | Т | 13 500 |
| Никелевый шлак | Т | 800 |
| Электроэнергия | кВт·ч | 3,08 |

Таблица 12 – Затраты на оборудование и амортизацию

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

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 13 – Потребление электроэнергии

| Оборудование | Мощ – ность, кВт | Кол – во, шт. | Общая мощ – ность, кВт | Часы работы в сутки | Итого | | Затраты на 1 м ³ пенобет она, руб. |
|---------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------|-------|--------|--|
| | | | | | кВт·ч | руб. | |
| Пеногенератор | 2,2 | 1 | 2,2 | 12 | 26,4 | 81,3 | 4,52 |
| Смеситель | 3,1 | 1 | 3,1 | 12 | 37,2 | 114,6 | 6,36 |
| Растворонасос | 2,2 | 1 | 2,2 | 12 | 26,4 | 81,3 | 4,52 |
| Дозатор | 3,5 | 1 | 3,5 | 12 | 42 | 129,36 | 7,18 |
| Освещение | 0,1 | 25 | 2,5 | 12 | 60 | 184,8 | 10,2 |
| ИТОГО | | | | | | | 32,78 |

Таблица 14– Затраты на сырьевые материалы

| Наименование | Расход сырья на м ³ готовой продукции, кг | Цена сырья, руб./ м ³ | Затраты на сырьё, руб./ м ³ |
|--------------------------|--|-------------------------------------|---|
| Магнезиальное вяжущее | 600 | 1175 | 705 |
| Бишофит технический | 175 | 7 500 | 1312 |
| Вода техническая | 213,8 | 2,5 | 5,4 |
| Пенообразователь | 0,6 | 75 000 | 45,5 |
| Никелевый шлак | 90 | 800 | 72 |
| Оксид магния | 6,06 | 13 500 | 81,9 |
| ИТОГО | | | 2221,8 |

Таблица 15 – Затраты на оплату труда рабочих

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

Таблица 16 – Расчет стоимости пенобетона на магниальном вяжущем

| Вид затрат | Затраты на 1 м ³ пенобетона, руб. |
|-------------------------------|--|
| Сырье | 2221,8 |
| Электроэнергия | 32,78 |
| Оплата труда | 287,63 |
| Отчисления на амортизацию ОПФ | 9,143 |
| ИТОГО | |
| Себестоимость | 2551,26 |
| Рыночная цена | 3278,9 |

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 2551,26 руб. за 1 м³ пенобетона. А стоимость такого пенобетона на рынке 3278,9 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 17.

Таблица 17 – Расчет стоимости пенобетона на магнизиальном 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. |
|-------------------------------|--|--|
| Сырье | 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 13 приведена сравнительная диаграмма рыночных стоимостей закладочных смесей на разных вяжущих.

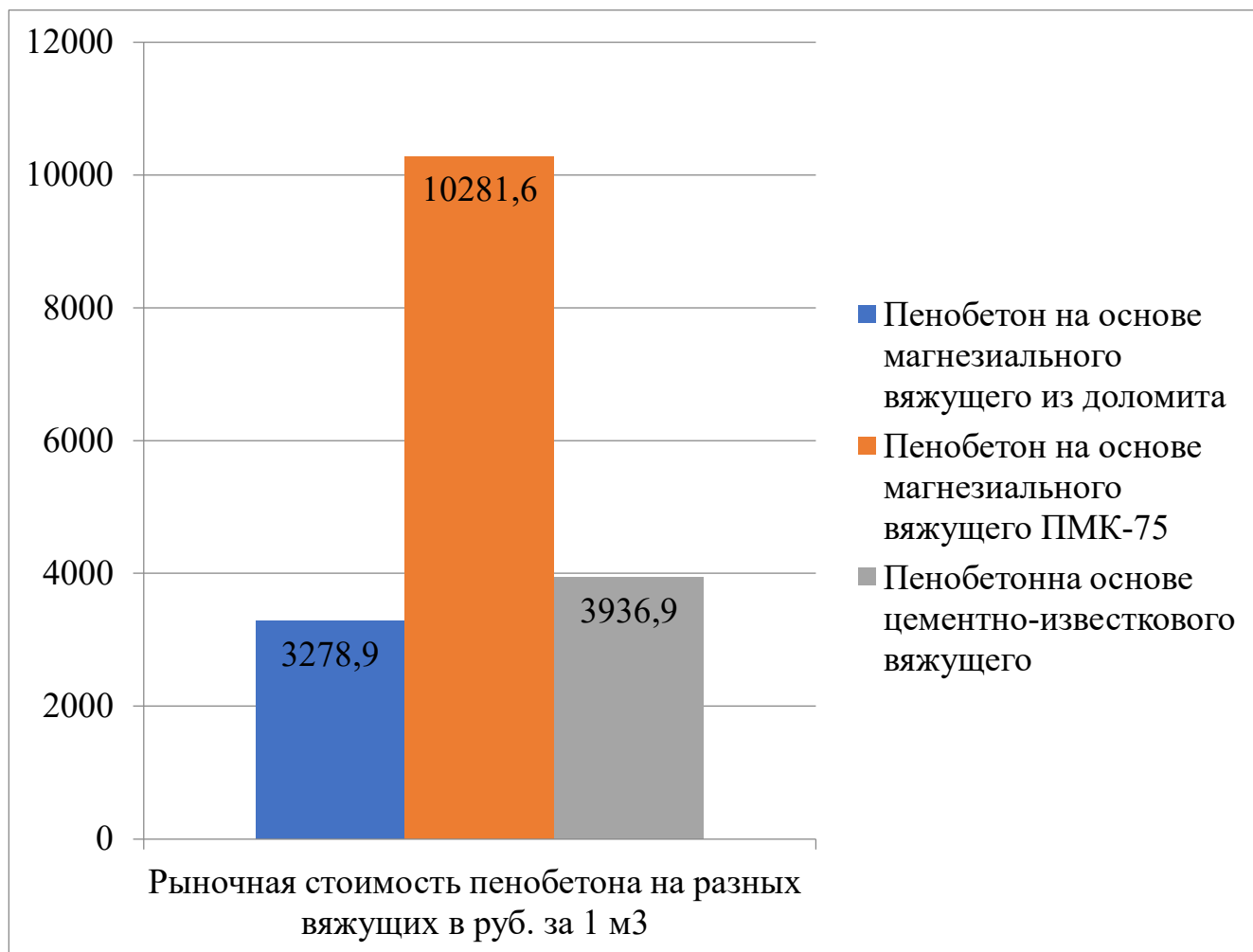


Рисунок 13 – Сравнительная диаграмма рыночных стоимостей ячеистых бетонов на разных вяжущих

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

$$\text{Рентабельность} = (3278,9 - 2551,26) / 2551,26 \cdot 100 \% = 28,5 \%$$

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 7032,7 руб. по сравнению с пенобетоном на магнезиальном вяжущем ПМК – 75 и 658 руб. по сравнению с изделием на цементно-известковом вяжущем.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Актуальной задачей современного строительного материаловедения является поиск новых сырьевых материалов для повышения эксплуатационных свойств строительных материалов и снижения экологической нагрузки от производственных процессов.

2. Ячеистые бетоны являются эффективным строительным материалом для промышленного и гражданского строительства. Использование магниезальных вяжущих в качестве сырьевых материалов для его производства является эффективным решением обозначенной выше задачи.

3. При широком спектре положительных свойств, таких как быстро набираемая высокая прочность, стойкость к агрессивным средам и низкая истираемость, магниезальные вяжущие имеют и существенные недостатки, такие как низкая водостойкость и высокая гигроскопичность.

4. Высокая гигроскопичность материалов является критичным моментом для производства ячеистых бетонов, так как она ведет к повышению сорбционной влажности изделий. Сорбционная влажность ячеистых бетонов ограничена по требованиям государственного стандарта, так как с повышением прочности падают прочностные характеристики изделий.

5. Понизить гигроскопичность магниезального камня можно путем введения добавок, содержащих свободные ионы железа. Такие добавки за счет эффекта ионного обмена снижают поверхностный заряд магниесодержащих соединений. Ранее исследования по понижению гигроскопичности магниезальных материалов с использованием высокомагниезальных вяжущих. С учетом высокой эффективности магниезальных вяжущих с низким содержанием оксида магния, целесообразным является исследование влияния данной добавки на гигроскопические свойства материалов, получаемых на их основе.

6. По результатам исследования было установлено, что введение железистых добавок в виде никелевого шлака в состав магниезальной композиции пенобетона позволяет понизить сорбционную влажность изделий и повысить их прочностные характеристики по сравнению с бездобавочными составами.

7. Исследование минералогического состава модифицированных композитов подтвердило, что механизм действия железосодержащих добавок в композиция получаемых на основе вяжущих с низким содержанием оксида магния протекает аналогично процессам, протекающим в композициях на основе магнезиальных вяжущих.

8. Разработанные составы пенобетонов имеют физико-механические характеристики, соответствующие требованиям государственного стандарта на неавтоклавные ячеистые бетоны. Расчет экономической эффективности показал, что производство ячеистых бетонов на разработанных составов является рентабельным, а продукция конкурентоспособной по сравнению с материалами – аналогами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 310.2–76. Цементы. Методы определения тонкости помола. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 5 с.
2. ГОСТ 23789–2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытания. – М.:ИПК Издательство стандартов, 1987. – 12 с.
3. Крамар, Л.Я. О требованиях стандарта к магнезиальному вяжущему строительного назначения / Л.Я. Крамар // Строительные материалы. – 2006. – №1. – С. 47–53.
4. ГОСТ 7759–73. Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 16 с.
5. Сферы применения бишофита. – <http://bishofit-ooo.ibud.ua/ua/polniu-pressreliz-companii/sfery-primeneniya-bishofita-59977>.
6. Общая информация о бишофите. – <http://www.vhim.net.ru/bishofit.htm>.
7. Пащенко, А.А. Вяжущие материалы / А.А.Пащенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская. – 2 – е изд. – К.: Вицашк. Головное изд-во, 1985. – 440 с.
8. Шелягин, В.В. Магнезиальный цемент (сырье, технология получения и свойства) / В.В. Шелягин. – Санкт-Петербург: «Перспект науки», 2006. – 206 с.
9. 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.
10. Гришина, М.Н. Получение водостойких магнезиальных вяжущих с использованием местного сырья и отходов промышленности.: дис. ... канд. техн. наук / М.Н. Гришина. – Барнаул, 1998. – 21 с.
11. Вайвад, А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества / А.Я. Вайвад – Рига: Наука, 1971. – 315 с.
12. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / А.Я. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
13. Горная энциклопедия. – <http://www.mining-enc.ru/d/dolomit/>.

14.ТУ 5744-001-60779432-2009 Магнезиальное вяжущее строительного назначения. Технические условия. – 7 с.

15. ГОСТ 23732–2011. Вода для бетонов и строительных растворов. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.

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

17. Крамар, Л.Я. Особенности твердения магнезиального вяжущего / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, Б.Я Трофимов // Цемент и его применение. – 2006. – №5. – С. 58–61.

18. Крамар, Л.Я. Теоретические основы и технология магнезиальных вяжущих и материалов.: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / Л.Я. Крамар. – Челябинск, 2007. – 42 с.

19. Соловьева, Е.С. Физико-химические особенности твердения магнезиального цемента / Е.С. Соловьева, Б.И. Смирнов, Е.Е. Сегалова, П.А. Ребиндер // Журнал прикладной химии. – 1968. – Т. 30, № 11. – С. 2399–2404.

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

21. Сычев, М.М., Некоторые аспекты химической активности цементов и бетонов / М.М. Сычев, Л.Б. Сватовская // Цемент. – 1979. – № 4. –С.13–14.

22. Тимашев, В.В. Синтез и исследование комплексных солей кальция / В.В. Тимашев, Л.И. Сычева, Е.М. Нестерина // Труды Всесоюзного совещания по гидратации и твердению вяжущих. – Львов, 1981. – С. 49–52.

23. Кузнецова, Т.В. Использование минеральных добавок — резерв увеличения объема производства цемента / Т. В. Кузнецова // Alitiinform. – 2009. – № 2. – С. 28–36.

24. Кривобородов, Ю.Р. Специальные цементы: учебное пособие / Ю.Р. Кривобородов, Т.В. Кузнецова. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2011. – 64 с.

25. Самченко, С.В. Модифицирование макро- и микроструктуры композиционных материалов гидросиликатами кальция / С.В. Самченко, Е.М. Макаров // Техника и технология силикатов. – 2013. – Т. 20, № 4. – С. 20–24.

26. Каприелов, С.С. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона / С.С. Каприелов, Ю.Р. Кривобородов // Бетон и железобетон. – 1992. – № 7. – С. 4-5.

27. Кривобородов, Ю.Р. Применение вторичных ресурсов для получения цемента / Ю.Р. Кривобородов, И.Ю. Бурлов, А.Ю. Бурлов // Строительные материалы. – 2009. – №2. – С.44–45.

28. Технология натуральных эфирных масел и синтетических душистых веществ / И.И. Сидоров, Н.А. Турышева, Л.П. Фадеева, Е.И. Ясюкевич. – Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 368 с.

29. Дворкин, О.И Основы бетоноведения / О.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Строительство. Бетон, 2006. – 691 с.

30. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – Стройиздат, 1989. – 186 с.

31. Сулименко, Л.М. Механоактивация вяжущих композиций на основе техногенных продуктов / Л.М. Сулименко, Ю.Р. Кривобородов, В.В. Плотников, Н.И. Шалуненко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1998. – № 10. – С. 51–56.

32. Кривобородов, Ю.Р. Состав и свойства расширяющихся цементов: учеб. Пособие / Ю.Р. Кривобородов, С.В. Самченко. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 53 с.

33. Плотников, В.В. Влияние активирующих наноструктур на синтез и качество клинкера / В.В. Плотников, Ю.Р. Кривобородов // Сухие строительные смеси. – 2010. – №6. – С. 34–36.

34. ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением – М.: Стандартинформ, 2012 г. – 12 с.

35. Аверина, Г.Ф. Исследование взаимосвязи объемных деформаций, состава и структурных характеристик магнезиальных вяжущих / Т.Н. Черных, А. А. Орлов, Л.Я. Крамар // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 17, №3. – С. 40–47.