Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Строительные материалы и изделия»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент,
Директор ООО «НПП «Уралбоксит»
_____Е.Н. Ряховский
_____2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____Б.Я. Трофимов
_____ 2018 г.

Получение тяжелого магнезиального бетона.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ–08.03.01.208.2018. ПЗ ВКР

Руководитель проекта:
к.т.н., доцент
_____ А.А. Орлов
_____ 2018 г.
Автор проекта
студент группы АСИ-424
_____ Е.В. Лазаревич
_____ 2018 г.

Нормоконтролер:
к.т.н., доцент
_____ А.А. Орлов
_____ 2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Лазаревич Е.В. «Получение тяжелого магнезиального бетона.» – Челябинск: ЮУрГУ, АС, 2018, 76 с., 3 ил., 46 табл., библиогр. список – 33 наимен.

Работа посвящена разработке тяжелого бетона на основе магнезиального вяжущего. Представлены исследования возможности использования доломита в качестве сырья для производства тяжелого магнезиального бетона. Проведена оценка доломитового сырья Саткинского месторождения. Разработан состав тяжелого бетона на их основе. Исследованы свойства полученного тяжелого бетона.

.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 8

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР 9

1.1 Актуальность темы исследования 9

1.2 Тяжелый бетон. Общие сведения о бетонах и их свойствах 12

1.3 Методы разработки состава бетона. 19

1.4 Сырьевые материалы для тяжелого бетона и их свойства 20

1.4.1 Вяжущее 20

1.4.2 Крупный заполнитель 23

1.4.3 Мелкий заполнитель 27

1.4.4 Вода 29

1.4.5 Добавки 33

1.5 Магнезиальное вяжущее 36

1.6 Затворитель для тяжелого магнезиального на основе магнезиального вяжущего 37

1.7 Корректировка состава хлормагнезиальных композиций 39

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ 42

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ 43

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ 44

2.1 Материалы 44

2.1.1 Исходное сырье 44

2.1.2 Вяжущее 44

2.1.3 Крупный заполнитель 44

2.1.4 Мелкий заполнитель 44

2.1.5 Хлорид магния шестиводный технический (бишофит) 44

2.2 Методы исследования 46

2.2.1 Физико-механические методы испытаний 46

2.2.2 Физико-химические методы исследований 46

2.2.3 Математическое планирование эксперимента. 48

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ 50

3.1 Исследование пригодности использования выбранной породы в качестве сырья для вяжущего и заполнителей 50

3.2 Исследования пригодности крупного заполнителя для производства тяжелого бетона 53

3.3 Исследования пригодности мелкого заполнителя для производства тяжелого бетона 54

3.4 Производство и исследования вяжущего на основе заданного сырья .. 55

3.5 Разработка состава тяжелого магнезиального бетона на исследованном сырье 55

3.5.1 Расчёт состава тяжелого магнезиального бетона 55

3.5.2 Исследование свойств бетонной смеси и образцов разработанного бетона 60

ВЫВОДЫ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ 64

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ..... 65

4.1 Расчет затрат на производство продукции 65

4.1.1 Затраты на производство крупного заполнителя..... 65

4.1.2 Затраты на производство мелкого заполнителя..... 66

4.1.3 Затраты на производство сырья для производства вяжущего..... 68

4.1.4. Затраты на производство вяжущего..... 70

4.2 Сравнение себестоимости тяжелых бетонов на разных вяжущих..... 73

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ 75

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 76

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день исследование магнезиальных вяжущих и разработка изделий на их основе (дисперсно- и двумерноармированных) является набирающей популярность тенденцией в европейском и азиатском научных сообществах.

Развитие производства и применение высокоэффективных магнезиальных бетонов позволит снизить стоимость строительства, трудоемкость, энергозатратность. При одновременном повышении долговечности, качества бетона и экологичности строительства.

Таким образом, помимо значительного экологического эффекта за счет утилизации многотоннажных невостребованных отвалов в качестве сырья, низкая стоимость изделий на их основе снизит стоимость многоэтажного и малоэтажного строительства, следовательно, и цены на готовое жилье. В перспективе недорогие строительные материалы и готовое жилье на их основе станут значительной составляющей развития программ по предоставлению доступного жилья малоимущим семьям.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Актуальность темы исследования

Горнодобывающая промышленность находится на 2 месте по вредности из всех отраслей промышленности за счет распространения невостребованных отходных отвалов, не возвращающихся в производство, на значительные территории. Вопрос утилизации таких отходов на сегодняшний день актуален, так как они занимают огромные площади плодородных земель, способствуют загрязнению грунтовых вод и воздушного бассейна. Например, на сегодняшний день на балансе Российской Федерации по статистическим данным «Государственного баланса запасов полезных ископаемых РФ» числится более 4 млн. тыс. тонн запасов категории С2 в виде магнезиальных отходов различного генезиса. Однако, в настоящий момент они являются не востребованными, так как магнезиальные вяжущие производятся в небольших количествах исключительно из чистого магнезитового сырья, так как примесные минералы, входящие в состав отходов горнодобывающих предприятий оказывают вредоносное влияние на качество получаемого вяжущего. Магнезиальные вяжущие имеют огромный потенциал, так как изделия на их основе обладают высокой экологичностью, быстрым набором прочности без тепловой обработки и ее высокими показателями, высокой технологичностью, стойкостью к действию нефтепродуктов, грибков, бактерий, низкой истираемостью и т.д. На сегодняшний день существует широкая номенклатура таких изделий: фибролит, ксилолит, сухие строительные смеси, жесткие «холодные полы», отделочные стекло-магнезиальные листы. Активно разрабатываются технологии получения конструкционных магнезиальных материалов для малоэтажного строительства в виде пенно- и газобетонных блоков. Но, в сравнении с наиболее используемым на данный момент вяжущим – портландцементом и различными его разновидностями потребление

магнезиальных вяжущих довольно не велико. Кроме низкой популярности магнезиального вяжущего в целом, это явление можно объяснить тем фактом, что порядка 70 % ежегодно производимого цемента используется для производства железобетонных изделий. Армированные металлической арматурой изделия на основе цементного бетона имею высокую прочность на изгиб, и применяются в качестве несущих и ограждающих конструкций, как для многоэтажного, так и для малоэтажного строительства, таким образом, являясь наиболее популярным материалом для строительства. Разработка технологии производства высокоэффективных магнезиальных бетонов позволит существенно расширить область их применения в строительстве, что в свою очередь приведет к росту популярности магнезиального вяжущего в целом и значительно ускорит процесс переработки отвалов отходов магнезиальных производств.

Помимо высокой экологической эффективности производства изделий из магнезиальных вяжущих, обусловленной утилизацией многотоннажных отходов горнодобывающих производств, стоит учесть также их высокую энергоэффективность. Магнезиальные вяжущие получают методом низкотемпературного обжига (при температурах до 800 °С), что позволяет потреблять меньше топлива по сравнению с технологией производства портландемента, получаемого при температурах 1450 °С.

Таким образом, предложенные далее технологии получения магнезиальных вяжущих строительного назначения и материалов на их основе в полной мере соответствуют основными принципами развития области строительных материалов в РФ: рациональному природопользованию и энергоэффективности. Внедрение их в качестве дополнительных

технологических линий на горнодобывающих и огнеупорных производствах, позволит сделать такие производства практически безотходными.

1.2 Тяжелый бетон. Общие сведения о бетонах и их свойствах

Бетонами называют искусственные каменные композиты, получаемые в результате твердения перемешанной и уплотненной смеси из минерального или органического вяжущего вещества с водой мелкого или крупного заполнителей взятых в определенных пропорциях.

По техническому регламенту классификация бетонов происходит по следующим признакам:

- основному назначению;
- средам эксплуатации;
- виду вяжущего;
- виду заполнителей;
- структуре;
- условиям твердения;
- прочности;
- темпу набора прочности;
- плотности;
- морозостойкости;
- проницаемости.

В зависимости от основного назначения бетоны делят на:

- конструкционные;
- конструкционно-теплоизоляционные;
- теплоизоляционные, специальные.

По средам эксплуатации бетоны подразделяют по видам коррозии:

- ХО – среда без риска коррозионного воздействия (например, внутри помещений);

– XC – коррозия, вызванная карбонизацией; XC1–постоянная сухая или влажная среда эксплуатации, XC2–влажная, иногда сухая, XC3 – умеренно влажная (влажные помещения, влажный климат), XC4–переменное увлажнение и высушивание (степень агрессивности увеличивается с увеличением индекса);
– XD - коррозия, вызванная действием хлоридов; бетон, содержащий стальную арматуру или закладные детали, подвергается действию хлоридов, включая антиобледенители, XD1–умеренная влажность (воздействие аэрозолей с хлоридами, XD2–влажная, иногда сухая (плавательные бассейны, пром. стоки, XD3–попеременное увлажнение и высушивание (покрытия дорог, тротуаров, мостов);
– XS – коррозия, вызванная морской водой, XS1–воздействие солей без контакта с морской водой (береговые сооружения), XS2 – постоянно находятся в морской воде, XS3 –приливная зона, действие солёных брызг, волн;
– XF - коррозия, вызванная попеременным замораживанием и оттаиванием; XF1 – умеренное водонасыщение без антиобледенителей (стены), XF2–умеренное водонасыщение с антиобледенителями, XF3 – сильное водонасыщение без антиобледенителей, XF4–сильное водонасыщение в том числе морской водой или с антиобледенителями;
– XA – химическая коррозия при действии растворов солей из грунтовых вод или грунтов (Таблица 1).

Таблица 1 - Химическая коррозия при действии растворов солей из грунтовых вод или грунтов.

Химические агенты	Среды		
	ХА1	ХА2	ХА3
В грунтовой воде SO_4^{-2} мг/л	200…600	Более 600…3000	Более 3000…6000
pH	6,5…5,5	Менее 5,5…4,5	Менее 4,5…4,0
CO_2 агрессивный, мг/л	15…40	Более 40…100	Более 100 …до насыщения
NH^{+4}, мг/л	15…30	Более 30…60	Более 60…100
Mg^{+2}, мг/л	300…1000	Более 1000…3000	Более 3000
В грунте SO_4^{-2} мг/л	2000…3000	Более 3000…12000	Более 12000
Кислотность, мл/кг	Более 200	Не встречаются	

По виду вяжущего бетоны делят на:

- цементные;
- известковые;
- шлаковые;
- гипсовые;
- специальные.

По виду заполнителей бетоны делят на:

- плотных заполнителях;
- пористых заполнителях;
- специальных заполнителях.

По структуре бетоны делят на:

- плотной структуры;
- поризованной структуры;
- ячеистой структуры;
- крупнозернистой структуры.

По условиям твердения бетоны делят на твердевшие:

- в естественных условиях;
- в условиях тепловлажностной обработки при атмосферном давлении;
- в условиях тепловлажностной обработки при давлении выше атмосферного (автоклавного твердения).

По прочности бетоны делят на:

- средней прочности (B≤B50)
- высокой прочности (B≥B60).

По темпу набора прочности бетоны делят на:

- быстрый (R2/R28 ≥ 0,5);
- средний (R2/R28 ≥0,3; <0,5);
- медленный (R2/R28 ≥0,15; <0,3);
- очень медленный (R2/R28 <0,15).

По средней плотности бетоны делят на:

- особо легкие (D≤D800);

– легкие (D800<D≤D2000);
– тяжелые (D200<D≤D2600);
– особо тяжелые (D>D2600).

По морозостойкости бетоны делят на:

– низкой морозостойкости (F50≥F);
– средней морозостойкости (F50<F≤F300);
– высокой морозостойкости (F>F300).

По проницаемости бетоны делят на:

– низкой проницаемости (W>W10)
– средней проницаемости (4<W≤W10)
– высокой проницаемости (W≤W4).

Наименования бетонов определенных типов (видов) должны включать, как правило, все классификационные признаки, установленные настоящим стандартом. Признаки которые не являются определяющими для бетона данного типа (вида), в его наименование допускается не включать. В наименованиях конструкционных бетонов слово «конструкционный» может быть опущено.

При необходимости в наименованиях могут указываться конкретные виды вяжущих, заполнителей, условий твердения, а также типы (виды) бетонов, уточняющие их назначение, свойства, состав или технологию их изготовления.

Для бетонов, характеризуемых наиболее часто применяемыми сочетаниями признаков, используют следующие наименования: «бетон тяжелый», «бетон легкий», «бетон ячеистый», «бетон силикатный».

По техническому регламенту ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования нормируются следующие свойства бетона [14]:

1. прочность;

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений, возникающих от нагрузок и других факторов. Бетон в конструкциях испытывает напряжения различных видов: сжатия, растяжения, изгиба и др.

2. теплопроводность;

Теплопроводность бетона – способность бетона передавать через свою толщу тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на поверхностях, ограничивающих ту или иную бетонную конструкцию.

3. теплоёмкость;

Теплоёмкость – количество тепла, необходимое для нагрева вещества на 1 °С, характеризуется удельной теплоёмкостью.

4. температурные деформации;

5. плотность и проницаемость;

Плотность бетона его важнейшее свойство, в значительной степени определяющее его прочность, непроницаемость, стойкость.

6. водопоглощение;

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать в своих порах влагу.

7. водонепроницаемость.

Водонепроницаемость бетона – способность бетона не пропускать через себя воду под давлением.

1.3 Методы разработки состава бетона.

Разработка состава бетона ведется с целью получения бетонной смеси с заданными свойствами и необходимой прочностью бетона. При этом важно учесть минимально возможное содержание вяжущего в 1 $м^3$ объема. Наиболее используемы методом проектирования состава бетона является метод расчета по абсолютным объемам, разработанный профессором Б. Г. Скрамтаевым. Расчет сырьевых материалов и подбор бетона после испытания ведут в следующей последовательности:

1. определение оптимального водосодержания, обеспечивающего требуемые показатели удобоукладываемости смеси, и цементно-водного отношения;

2. установление расхода цемента на 1 $м^3$ смеси, обеспечивающего требуемую прочность бетона в заданный срок при определенных режимах уплотнения и твердения;

3. определение расхода заполнителей на 1 $м^3$ уложенной и уплотненной смеси, выбор рационального зернового состава заполнителей и соотношения между ними;

4. уточнение опытного состава смеси и расчет производственного состава.

Такая методика основана на известных свойствах и характеристиках традиционно применяемых сырьевых материалов.

Так как для магнезиального тяжелого бетона на данный момент не выявлено необходимых зависимостей и в целом расчет состава создан для бетонов с использованием цементного вяжущего, возникает необходимость создание собственной методики разработки состава тяжелого магнезиального бетона.

1.4 Сырьевые материалы для тяжелого бетона и их свойства

1.4.1 Вяжущее

В качестве вяжущих для тяжелых бетонов следует применять портландцемент и шлакопортландцемент, отвечающие требованиям технических регламентов, сульфатостойкие и пуццолановые цементы и другие цементы в соответствии с областями их применения для конструкций конкретных видов [3, 10, 18].

Вид и марку цемента следует выбирать соответственно назначению конструкций и условиям их эксплуатации, требуемого класса бетона по прочности, марок по водонепроницаемости и морозостойкости, величины отпускной или передаточной прочности бетона для сборных конструкций на основании требований стандартов, технических регламентов или проектной документации на эти конструкции, а также воздействия вредных примесей в заполнителях на бетон.

Наиболее широкое применение в производстве бетона и железобетонных изделий получил портландцемент – вяжущее гидравлического твердения, получаемое помолом клинкера с добавкой гипса. Клинкер - продукт обжига при температуре 1450 °С до спекания сырьевой смеси (75...78 % CaO и 22...25% SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3) с целью получения основных клинкерных минералов: C_3S = 37...60%, C_2S = 15...37 %, C_3A = 5...15%, C_4AF = 10...18 %.

Требования к цементу по действующему техническому регламенту[18].

Типы цементов

ЦЕМ 1 без минеральных добавок

ЦЕМ II с минеральными добавками: содержит одну из добавок – граншлака 6-20 или 21-35 %, пуццоланы или золы-унос или глиежа (обожжённого

сланца) 6-20 %, микрокремнезёма 6-10 %, известняка 6 – 20 %, композиционный 6-20 % смеси.

ЦЕМ-III шлакопортландцемент 36-65 % шлака,

ЦЕМ-IV пуццолановый цемент 21-35 % пуццоланы, или золы-унос, глиежа, обожжённого сланца, микрокремнезёма,

ЦЕМ-V композиционный цемент содержит 11-30 % граншлаков и 11-30 % пуццоланы с золой.

Индексы: Н – нормальнотвердеющие, Б – быстротвередющие.

Основные показатели качества:

1. Марка цемента устанавливается по прочности на сжатие и прочности на изгиб образцов балочек 1:3 при В/Ц = 0,4 (расплыв конуса 106...115 мм) через 28 суток твердения (1 сутки над водой и 27 суток в воде). Действительная прочность цемента - активность, повышение активности на 1 МПа снижает расход цемента на 2...5 кг на 1 м3 бетонной смеси, поэтому при расчете состава бетона лучше использовать значение активности, что позволяет обеспечить экономию цемента. Для экономии цемента допускается также замена до 30 % цемента золой-унос ТЭС, удовлетворяющей требованиям соответствующего стандарта. Влияет на прочность – минералогический состав, водопотребность, скорость охлаждения клинкера, добавки, вводимые при помоле клинкера. Ускоренные определения активности цемента связаны с построением градуировочных зависимостей.

2. Водопотребность – характеризуется количеством воды затворения в % от массы цемента, при котором получается тесто нормальной густоты. Чем больше водопотребность цемента, тем больше расход цемента в бетоне. ЦНВ.

3. Сроки схватывания – начало схватывания не ранее 45 мин (обычно 1...2 ч.), Нсх не ранее 75 мин для 22,5 и 32,5, не ранее 60 мин для 42,5 и не ранее 45 мин для 52,5, конец схватывания – не позднее 10 ч. (обычно 6...8 ч.). Начало схватывания портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий должно наступать не ранее 2 часов, а портландцемента для железобетонных труб – не ранее 2 часов 15 минут от начала затворения. По согласованию изготовителя с потребителем допускаются иные сроки схватывания. Ускорители схватывания – электролиты, замедлители – поверхностно-активные вещества. Ложное схватывание – результат дегидратации гипса (до полуводного гипса) при помоле клинкера (t > 1500 °C), необходимо увеличить время перемешивания бетонных смесей, ввести добавку ЛСТ. Быстрое схватывание означает недостаточное количество гипса, необходимо ввести в бетоносмеситель 1...2 % от массы цемента гипса. Замедленное схватывание и твердение может быть результатом: длительного хранения цемента (лежалый), тогда производится увеличение времени перемешивания бетонной смеси в 2...4 раза или вводятся добавки ускорители твердения; или дефекта состава цемента или из-за случайных примесей, такой цемент нельзя применять для изготовления железобетонных конструкций. [18]

4. Равномерность изменения объема – испытание кипячением или автоклавированием. Если в клинкере повышенное содержание свободных оксидов CaO или MgO > 5 %, то при твердении железобетонных изделий могут появляться трещины (из-за медленного гашения пережжённой извести или MgO). Характерно для свежего (горячего) цемента. Для улучшения качества производится длительная аэрация цемента при хранении в течение до 7 суток, или введение до 0,5 % $CaCl_2$ в бетоносмеситель. Но $CaCl_2$ стимулирует коррозию арматуры.

5. При повышенном содержании щелочных соединений в цементе (более 0,6 % в пересчете на Na_2O) возможно появление трещин через

несколько месяцев эксплуатации железобетонных конструкций (щелочная коррозия). Для предотвращения необходимо введение в бетонную смесь активной минеральной добавки или кремнеорганической добавки ГКЖ-94.

6. Экзотермия цемента может вызвать трещины в массивных железобетонных конструкциях. Количество выделяемого цементом тепла зависит от минералогического состава клинкера, вида и количества добавок, тонкости помола, содержания цемента в бетоне и температуры твердения.

1.4.2 Крупный заполнитель

Крупный заполнитель – щебень из природного камня, щебень из гравия, щебень из попутно добываемых пород и отходов горнообогатительных предприятий, гравий, а также щебень из шлаков ТЭЦ [6, 11, 15, 22, 23].

Крупный заполнитель в зависимости от предъявляемых к бетону требований выбирают по следующим показателям:

- зерновому составу и наибольшей крупности;
- содержанию пылевидных и глинистых частиц;
- вредных примесей;
- форме зерен;
- прочности;
- содержанию зерен слабых пород, морозостойкости, истираемости;
- петрографическому составу;
- радиационно-гигиенической характеристике.

При подборе состава бетона определяют также плотность, насыпную плотность, пористость, водопоглощение, пустотность, крупные заполнители должны иметь среднюю плотность от 2000 до 2800 кг/м^3.

По зерновому составу крупный заполнитель следует применять в виде раздельно дозируемых фракций при приготовлении бетонной смеси. Наибольшая крупность (минимальный размер отверстий сита, полный остаток на котором не превышает 5 % от массы навески, используемой для просеивания) устанавливается в зависимости от характеристик бетонируемой конструкции:

– для плит покрытий, перекрытий допускаемая наибольшая крупность не должна превышать 1/2 толщины плиты;

– для балок, колонн, стен, рам и др. – не более 3/4 минимального расстояния между стержнями арматуры;

– при подаче бетонной смеси по хоботам и бетононасосам – не более 1/3 диаметра хобота или трубопровода.

– укладка бетонной смеси в скользящую опалубку – не более 1/6 наименьшего размера поперечного сечения железобетонной конструкции.

Содержание отдельных фракций в крупном заполнителе в составе бетона должно соответствовать нормированным показателям. Вместо фракции 5...10 мм допускается применять фракцию 3...10 мм при использовании песка с Мк < 2,5. Допускается применение крупных заполнителей в виде смесей двух смежных фракций.

Применение крупных заполнителей требуемой гранулометрии позволяет обеспечить минимальную пустотность, а, следовательно, и минимальный расход вяжущего.

Пылевидные и глинистые частицы в щебне ухудшают его сцепление с цементным камнем, повышают усадку, ползучесть и снижают морозостойкость бетона и прочность.

Для бетонов труб, шпал, опор ЛЭП, гидротехнических сооружений, мостов и др. содержание глинистых примесей ограничивается в большей мере.

По размерам частиц щебня различают зерна пластинчатой и игловатой (лещадной) формы, когда толщина и ширина меньше длины в 3 и более раза (при использовании щековых дробилок и слоистых пород).

Такие зерна ухудшают удобоукладываемость бетонной смеси, способны создавать своды, под которыми остаются пустоты, что приводит к снижению прочности бетона, повышают его анизотропность, проницаемость.

По содержанию лещадных зерен различают щебень кубовидной формы – до 15 %, улучшенной формы 15 … 25 %, обычной формы 25 … 35 %.

Использование заполнителей с содержанием лещадных частиц более 35% по массе допускается при условии обеспечения заданной удобоукладываемости бетонной смеси и плотности без перерасхода цемента.

Для дорожных и аэродромных покрытий, безнапорных труб ограничивается содержание лещадных частиц до 25 %, для напорных труб, опор ЛЭП и др. - до 15 %

Прочность заполнителя оценивается маркой, назначаемой по прочности на сжатие горной породы в насыщенном водой состоянии и по показателю дробимости каждой фракции раздавливанием в цилиндре d=h=15см под нагрузкой 20 т. После испытания пробу просеивают через сита:

1,25 мм – фр. 5(3) … 10 мм

2,5 мм – фр. 10 … 20 мм

5,0 мм – фр. 20…40 мм

Марка щебня определяется по максимальной дробимости

Для бетона марка щебня из изверженных горных пород должна быть не ниже 800, из метаморфических и осадочных – не ниже 300, гравия и щебня из гравия – не выше Др16.

Марка щебня из природного камня должна быть выше марки бетона: > 1,5 раза для бетона М < 300; > 2 раза для бетона М > 300.

Заполнители, прочность которых при насыщении водой снижается более чем на 20 %, не допускаются для бетона, эксплуатируемого в зоне переменного уровня воды и под водой. Для бетона железобетонных конструкций, рассчитываемых на выносливость, применение гравия не допускается (транспортные сооружения, мосты, подкрановые балки и т.п.).

Для бетона гидротехнических сооружений следует использовать щебень со средней плотностью не менее 2500 кг/м3 и величиной водопоглощения для заполнителя из изверженных и метаморфических горных пород <0,5 %, осадочных – <1 %.

Содержание зерен слабых пород (прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии менее 20 МПа) допускается для бетонов сборных и монолитных железобетонных конструкций до 10 % по массе, а для мостов, гидротехнических сооружений, напорных труб – до 5 %. Ограничивается также содержание зёрен слабых пород в крупном заполнителе в зависимости от классаа бетона по прочности при сжатии: для бетона класса В40 и выше содержание зёрен слабых пород допускается не более 5 % по массе, для бетона классов В20…В30 – не более 10 %, для В15 и ниже – до 15 %.

Морозостойкость крупного заполнителя должна быть не ниже марки бетона по морозостойкости и оценивается по потере массы при циклическом

замораживании на воздухе и оттаивании в воде или при циклическом высушивании и насыщении в растворе сульфата натрия.

Крупный заполнитель для дорожных покрытий лестничных маршей, площадок, полов характеризуется маркой по истираемости в полочном барабане по потере массы.

Средний уровень естественных радионуклидов не должен превышать 25 мрентген/час.

1.4.3 Мелкий заполнитель

Мелкий заполнитель - рыхлая горная порода или отход промышленности с размером зерен до 5 мм и модуль крупности Мк = 1,5...3,25. В тяжелом бетоне разрешается использовать в качестве мелкого заполнителя:

- природный кварцевый или полевошпатовый песок – продукт выветривания горных пород;
- песок из отходов дробления горных пород;
- песок из шлаков ТЭС.

Мелкий заполнитель должен иметь среднюю плотность от 2000 до 2800 кг/м3.

Зерновой состав должен соответствовать кривым просеивания, при этом учитываются только зерна, проходящие через сито 5 мм. Песок с Мк менее 2 допускается для бетона, класс которого по прочности при сжатии менее 15 (В <15), при Мк = 2...2,5 – В = 15...25, Мк = 2,5...3,25 – В более 25. В бетонах класса до В30 допускаются пески с Мк = 1...1.5, содержащие зерен менее 0.16 мм до 20 % и пылевидных и глинистых частиц не более 3 % после специальных исследований.

Использование дробленых песков из отсевов и их смесей с природными допускается при условии обеспечения заданной удобоукладываемости без перерасхода цемента.

При наилучшем сочетании в песке зерен различного размера его пустотность может быть уменьшена до 30%, в доброкачественном – до 30...38 %, в однофракционном – до 47 %.

Загрязняющие примеси, отмучиваемые (в природном до 3 %, отсеве – до 5%) и глина в комках (не более 0,5 %), ухудшают сцепление с цементным камнем, повышают водопотребность бетонной смеси и уменьшают прочность на сжатие, плотность, морозостойкость. Органические примеси реагируют с твердеющим цементным вяжущим и понижают его прочность. Песок с такими примесями можно применять, если прочность раствора из него не менее чем на том же песке, но промытом сначала известковым молоком, а затем водой.

Качество заполнителей оказывает существенное влияние на прочность бетона. Чем мельче песок, тем больше будут его удельная поверхность, водопотребность бетонной смеси и расход цемента в бетоне. Для бетонов низких марок на мелком песке расход цемента увеличивается меньше, чем для бетонов средних марок. В бетонах высоких марок в связи с высоким содержанием цемента его перерасход при использовании мелкого песка значительно ниже за счет меньшего содержания песка в бетоне и повышенной активности цемента. В результате в бетонах высоких марок на мелких песках перерасход цемента составляет обычно 10...15 %.

Песок из отсевов дробления для бетонов дорожных и аэродромных покрытий должен иметь марки по прочности исходной горной породы (изверженных не менее 800, осадочных и метаморфических не менее 400, гравии Др менее 16, для труб не менее 600).

Песок из шлаков ТЭС запрещается применять для бетона транспортных и гидротехнических сооружений, для бетона других объектов этот песок должен иметь:

- частиц более 5 мм – не более 10 %;
- проход через сито 0,315 – не более 20 %;
- насыпную плотность – не менее 1100 кг/м3;
- сернистых и сернокислых – не более 3% по массе в пересчете на SO_3;
- свободного CaO – не более 1 %.

1.4.4 Вода

Виды воды – для приготовления бетонных и растворных смесей, ухода за твердеющим бетоном и промывки заполнителей может применяться вода: питьевая, естественная поверхностная и грунтовая, техническая, морская и засолённая, вода после промывки оборудования для приготовления и транспортирования бетонных и растворных смесей, комбинированная вода. Не допускается для приготовления бетонных и растворных смесей, ухода за бетоном и промывки заполнителей: сточная, болотная и торфяная вода. Так же существуют требования по содержанию солей и взвешенных частиц в воде(таблица 2) [12].

Таблица 2 - Требования по содержанию в воде растворимых солей и взвешенных частиц.

Назначение воды	Мах допусимое содержание, мг/л			
	Раствори-мых солей	Ионов SO_4^{2-}	Ионов $C1^-$	Взвешен-ных частиц
Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении напряженных железобетонных конструкций и нагнетаемого раствора	2000	600	500	200
Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой, в т.ч. для водосбросных сооружений и зоны переменного горизонта воды массивных сооружений, а также строительных штукатурных растворов и растворов для армированной каменной кладки	5000	2700	1200	200
Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных неармированных конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению образования высолов, бетона бетонных и железобетонных конструкций подводной и внутренней зон массивных сооружений, а также строительных растворов для неармированной каменной кладки	10000	2700	4500	300
Вода для промывки заполнителей, сортировки и охлаждения	5000	200	1200	500

Продолжение таблицы

Назначение воды	Мах допусимое содержание, мг/л			
	Раствори-мых солей	Ионов SO_4^{2-}	Ионов $C1^-$	Взвешен-ных частиц
бетона				
Вода для поливки законченных наружных поверхностей бетонных и жбк	5000	2700	1200	500
Вода для поливки наружных поверхностей бетонных конструкций при допущении выцветов, высолов	35000	2000	20000	500

Общее содержание в воде ионов натрия и калия в составе растворимых солей не должно превышать 1500 мг/л

Ограничения по содержанию нитратов, сульфидов, сахаров, фосфатов и цинка в таблице 3

Таблице 3 – Ограничения по содержанию нитратов, сульфидов, сахаров, фосфатов и цинка.

Наименование примеси	Мах содержание Мг/л
Сахар	100
Фосфаты в расчете на P_2O_5	100
Нитраты в расчёте на NO_3^-	500
Сульфиды в расчёте на S^{2-}	100
Свинец в расчёте на Pb^{2+}	100
Цинк в расчёте на Zn^{2+}	100

Таблица 4 – Другие требования

Наименования показателя	Требования
Наличие нефтепродуктов, масел, жиров	Следы(радужная плёнка)
Наличие ПАВ	Стойкость пены менее 2 мин
Окраска	От бесцветной до желтоватой
Грубодисперсные примеси	Не более 4 % по объёму
Запах воды: После промывки оборудования Из других источников	 Легкий запах цемента, а при использовании золы – сероводорода Только запах питьевой воды
Кислотность	pH=4…12,5
Окисляемость	не более 15мг/л
Наличие гуминовых веществ	После добавления NaOH цвет воды светло желтовато-коричневый или светлее

1.4.5 Добавки

Добавки в бетон – неорганические и органические вещества или их смеси, при введении которых в контролируемом количестве направленно регулируются свойства бетонной смеси и бетона, либо ему придаются специальные свойства [13].

В качестве химических добавок, регулирующих свойства готовых к употреблению бетонных и растворных смесей, применяются:

- Пластифицирующие или водоредуцирующие добавки могут вводиться для повышения подвижности бетонной смеси при неизменном количестве воды затворения или для уменьшения количества воды затворения при неизменной подвижности бетонной смеси.
- Стабилизирующие добавки – уменьшают раствороотделение и водоотделение тяжелой бетонной смеси с маркой по удобоукладываемости П5, растворной смеси Пк4, легкобетонной смеси П3 в 2 и более раза. Одновременно увеличивают

подвижность смесей и замедляют нарастание прочности бетона, к ним относятся полиоксиэтилен (ПОЭ), метилцеллюлоза (МЦ), гипан (ГП) и др., дозировки назначаются экспериментально;

- Регулирующие сохраняемость подвижности бетонной смеси – увеличивают или уменьшают время сохраняемости подвижности в 1,5 и более раза, изменяют кинетику тепловыделения и нарастания прочности бетона, способствуют образованию высолов.
- Воздухововлекающие и газообразующие обеспечивают увеличение объёма воздуха (газа) в виде замкнутых пузырьков диаметром не более 2 мм в тяжёлых, мелкозернистых, лёгких конструкционных бетонных и растворных смесях на 1,5…5 %, в лёгких конструкционно-теплоизоляционных и теплоизоляционных смесях от 6 до 30 %, обеспечивают содержание в ячеистых смесях воздуха (газа) от 15 до 90 %, потеря воздуха или газа не должна превышать 25 % от первоначального объёма. В тяжёлых и лёгких конструкционных бетонах эти добавки применяются для повышения морозостойкости, в лёгких теплоизоляционных и ячеистых бетонах они применяются для снижения средней плотности и коэффициента теплопроводности. Эти добавки способствуют повышению подвижности, снижению водо и раствороотделения, снижают прочность, изменяют водопоглощение и водонепроницаемость.
- ускоряющие твердение бетона – увеличивают прочность в возрасте 1 суток нормального твердения на 50 % и более, после тепловой обработки – на 30 % и более при снижении прочности бетона (раствора) в возрасте 28 суток не более чем на 5 %. Побочным эффектом действия этих добавок является

образование высолов, повышение электропроводности смесей, бетонов, растворов.

- замедлители снижают прочность на 30 % и более в возрасте 3 суток при снижении прочности бетона (раствора) в возрасте 28 суток не более чем на 5 %, характеризуются также снижением скорости тепловыделения.
- добавки, повышающие прочность в проектном возрасте на 20 % и более, как правило способствуют снижению проницаемости бетона и раствора
- снижающие проницаемость – увеличивают водонепроницаемость бетона на две марки и более, повышают стойкость бетона к воздействию агрессивных сред.
- повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре (ингибиторы), обеспечивают значение плотности тока пассивации стали не менее 10 мА/см^2 и потенциал пассивации стали не менее минус 450 mv. Дополнительно способствуют увеличению подвижности смеси, снижению проницаемости бетона, увеличению электропроводности.
- повышающие морозостойкость бетона на 2 марки и более, изменяют реологические характеристики смеси, прочность и проницаемость бетона и раствора. Как правило для повышения морозостойкости используются водоредуцирующие и воздухововлекающие добавки, а также минеральные добавки пуццоланического действия в комплексе с водоредуцирующими и воздухововлекающими. Хорошо себя зарекомендовали также кремнеорганические добавки.
- повышающие сульфатостойкость и стойкость против коррозии, вызванной реакцией взаимодействия растворимого в щелочах

кремнезёма заполнителей со щелочами цемента и химических добавок. Используются активные минеральные добавки, способствующие снижению деформаций расширения.

1.5 Магнезиальное вяжущее

Магнезиальные вяжущие вещества – тонкомолотые порошки, состоящие в основном из оксида магния, получаемые умеренным обжигом пород, содержащих карбонаты и гидроксиды магния. Еще в 1867 году было установлено, что при твердении магнезиального вяжущего, затворенного водным раствором хлорида магния, формируется прочный искусственный камень.

Гидратация магнезиального вяжущего протекает в несколько этапов. На начальном этапе образуется пентаоксигидрохлорид магния по следующей реакции:

$$5MgO+MgCl_2+12H_2O=MgCl_2\bullet 5Mg(OH)_2\bullet 7H_2O$$

Затем по мере изменения концентрации исходных веществ в жидкой фазе происходит перекристаллизация пентаоксигидрохлорида магния в триоксигидрохлорид магния. Этот процесс сопровождается выделением гидроксида магния и может быть описан следующей реакцией:

$$MgCl_2\bullet 5Mg(OH)_2\bullet 7H_2O \rightarrow MgCl_2\bullet 3Mg(OH)_2\bullet 7H_2O+2Mg(OH)_2$$

Микроскопическими исследованиями было установлено, что данное соединение кристаллизуется в виде игл или волокон, что придает камню повышенную прочность при изгибе [1].

Магнезиальное вяжущее является быстротвердеющим, через сутки прочность магнезиального камня составляет 35-50 %, а через 7 суток 60-90 % от конечной прочности. Сроки схватывания магнезиального вяжущего несколько короче, чем у портландцемента: начало – не ранее 20 минут, конец – не позднее 6 часов от момента затворения. По совокупности показателей

магнезиальное вяжущее относится к быстротвердеющим нормально схватывающимся высокопрочным вяжущим, твердеющим на воздухе.

Технология получения оксида магния из любых природных материалов, независимо от области использования, обязательно включает процесс обжига, так как из магнезита необходимо удалить углекислый газ, а из бруситов и серпентинов кристаллизационную воду. При этом для получения материалов разного назначения, обжиг минерального сырья должен проводиться по строго определенным режимам [28].

Для производства магнезиальных вяжущих используют горные породы, в которых содержатся следующие основные минералы:

- магнезит ($MgCO_3$);
- доломит $CaMg(CO_3)_2$;
- брусит ($Mg(OH)_2$).

Из этих пород производят соответственно каустический магнезит, каустический доломит и каустический брусит.

Важное отличие магнезиального вяжущее от портландцемента, в том что он затворяется не водой, а водным раствором хлорида магния.

1.6 Затворитель для тяжелого магнезиального на основе магнезиального вяжущего

Одним из отличий магнезиального вяжущего от портландцемента это необходимость в затворении водным раствором хлорида магния (бишофита).

Согласно литературным данным, наибольшей прочности достигают магнезиальные композиции с использованием в качестве затворителя водного раствора хлорида магния (бишофита). Плавленый (технический) $MgCl_2*6H_2O$ (бишофит), должен отвечать требованиям регламента [20].

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 существуют крупные месторождения хлорида магния в Волгограде (оз. Эльтон), в Алтайском крае (соленые озера Кулундинской степи – оз. Кучук, оз. Большое и Малое Яровое, оз. Малиновое и др.). В производстве хлорида магния из рапы основными операциями являются предварительное упаривание – удаление большой массы посторонних веществ (оксида железа, углекислого кальция, гипса, поваренной соли) и окончательное упаривание [33].

Операция упаривания ведется в специальных котлах. Плавленый хлорид магния по своему химическому составу соответствует формуле: $MgC1_2 \cdot 6H_2O$.

В некоторых случаях, кроме плавленого, 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, MgCl2 – 24,0, H2O – 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 ($KCl•NaCl•MgCl_2•6H_2O$) 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/см^3, чаще всего используют для затворения магнезиального вяжущего водный раствор бишофита с плотностью от 1,20 до 1,26 г/см^3 [32].

1.7 Корректировка состава хлормагнезиальных композиций

Методика прогнозирования прочности магнезиальной композиции с учетом количества активного оксида магния в порошке вяжущего была предложена Т.Н. Черных [30]. Метод основан на варьировании соотношения

между затворителем и вяжущим, так как изменение водопотребности вяжущего зависит от множества факторов: тонкости помола, условий обжига, качества сырья и др. При этом, в настоящее время, вяжущие из различного сырья чаще всего затворяются одинаково. При плотности 1,2 г/см^3 количество затворителя устанавливается исходя из подвижности смеси, это приводит к изменению прочности, повышению гигроскопичности, высолообразованию, иногда к растрескиванию готовых изделий. Автором установлена область допустимых значений соотношений H_2O/MgO и $MgCl_2/MgO$ для определения оптимальной плотности хлормагнезиального затворителя. Содержание оксида магния для вяжущего на основе доломитов Саткинского месторождения составляет 24 % [30]. Требуемые области варьирования H_2O/MgO и $MgCl_2/MgO$ представлены на рисунке 1.

Помимо подбора оптимального соотношения компонентов затворителя данная методика позволяет регулировать подвижность композиции, что так же имеет влияние на получение бетонной смеси с заданными характеристиками на ее основе.

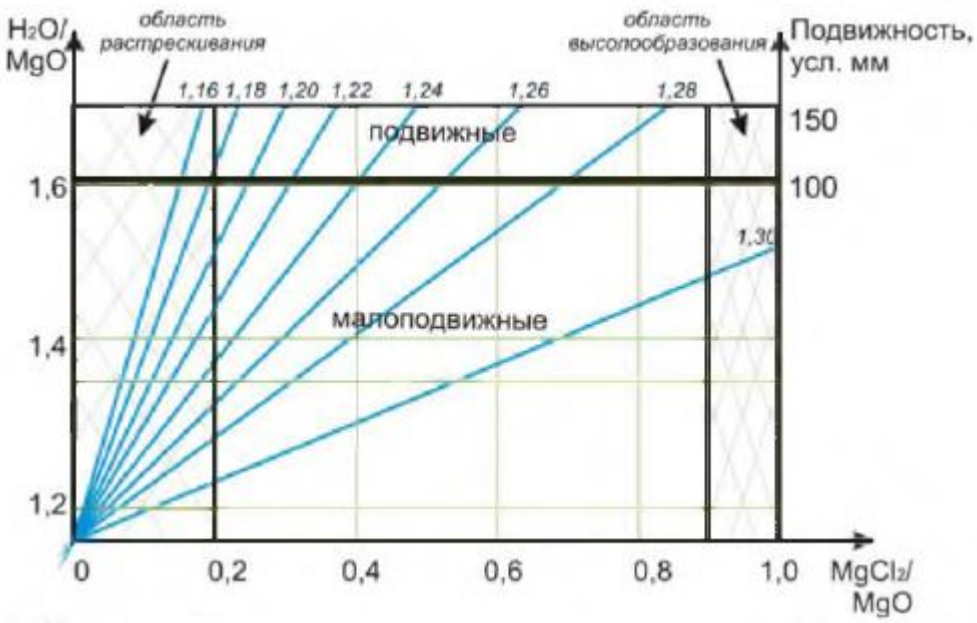


Рисунок 1 - Подвижность магнезиального теста вяжущего в зависимости от соотношения компонентов в исходной композиции для вяжущего с содержанием свободного оксида магния 0.24

Разработанная методика позволяет получать удобообрабатываемые композиции с требуемой прочностью без растрескивания, высолообразования и повышенной гигроскопичности камня вяжущего. Однако для вяжущих из доломитов и доломитизированных магнезитов область высокоподвижных смесей очень узкая. В связи с этим, проблемой представляется обеспечение подвижности магнезиального теста из вяжущих с низким содержанием оксида магния.

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

1. Тяжелый бетон самый распространенный востребованный материал для современного строительства. Его свойства и характеристики зависят от широкого спектра факторов и контролируются большим количеством технических регламентов.

2. Характеристики готового бетона закладываются при проектировании состава. Современный метод расчета состава тяжелого бетона основан на известных зависимостях от характеристик традиционно применяемых сырьевых материалов.

3. На сегодняшний день известно магнезиальное вяжущее, обладающее широким спектром уникальных свойств, которое могло бы быть применимо для производства тяжелого бетона.

4. Из-за отсутствия установленных зависимостей необходимых для расчета состава бетона на магнезиальном вяжущем возникает необходимость корректировки существующего метода.

5. В качестве сырья для производства вяжущего, а так же крупного и мелкого заполнителей целесообразно использовать крупнотоннажные магнийсодержащие отходы огнеупорных и горнодобывающих производств.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы:

Получение тяжелого магнезиального бетона.

Задачи работы:

1. Изучить свойства доломитового сырья в качестве крупного и мелкого заполнителей.

2. Разработать методику подбора состава магнезиального бетона методом максимально плотной упаковки.

3. Разработать оптимальный состав тяжелого магнезиального бетона, учитывая экономию вяжущего, максимальное использование доломитового заполнителя и минимального использования хлорида магния.

4. Оценить полученный тяжелый магнезиальный бетон с точки зрения действующих технических регламентов и экономической эффективности.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

2.1 Материалы

2.1.1 Исходное сырье

Для исследования был принят кристаллический доломит Саткинского месторождения с размером зерен 0…70 мм нерегулируемого минералогического состава.

2.1.2 Вяжущее

Для производства вяжущего использовали фракцию исходного сырья, прошедшую через сито 0,16 мм. Так же использовалась фракция f>40 мм, прошедшая помол до прохождения через сито 0,16мм

2.1.3 Крупный заполнитель

За крупный заполнитель были приняты фракции от 5 до 70 мм породы доломитовых отвалов Саткинского месторождения.

2.1.4 Мелкий заполнитель

В качестве мелкого заполнителя были приняты фракции от 0,16 до 5 мм породы доломитовых отвалов Саткинского месторождения.

2.1.5 Хлорид магния шестиводный технический (бишофит)

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

Требования, предъявляемые к качеству бишофита, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – 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 ºС;

– температура плавления: 714 ºС;

– плотность: 1,59 г/см^3;

– твердость: 1 – 2;

– сильно гигроскопичен;

– хорошо растворим в воде, растворяется в этиловом спирте [21].

Для подготовки затворителя использовали воду, соответствующую требованиям технического регламента [12]. Бишофит в необходимом количестве был полностью растворен в воде для каждого из замесов.

2.2 Методы исследования

Взятые для испытания доломитовое вяжущее и заполнители из доломита были подвергнуты физико-химическим методам исследования и физико-механическим испытаниям.

2.2.1 Физико-механические методы испытаний

Для определения физико-механических свойств материалов использовали стандартные методики, приведенные в таблице 6.

Таблица 6 – Методы испытаний

Вид испытаний	Метод испытаний
Нормальная густота, сроки схватывания магнезиального вяжущего, равномерность изменения объема.	ГОСТ 310.3-76 [7]
Прочность магнезиального камня	ГОСТ 310.4-81 [17]
Фракционный состав, содержание пылевидных и глинистых частиц, содержание зерен пластинчатой(лещадной) и игловатой формы, дробимость, морозостойкость, истинная плотность, насыпная плотность, водопоглащение щебня.	ГОСТ 8269.0-97 [24]
Зерновой состав, содержание пылевидных и глинистых частиц, истинная плотность, насыпная плотность, влажность песка.	ГОСТ 8735-88 [25]
Подвижность, средняя плотность, водоотделение, раствороотделение, сохраняемость бетонной смеси.	ГОСТ 10181-2014 [5]
Прочность бетона при сжатии, плотность.	ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 12730.1—78 [4, 8]

2.2.2 Физико-химические методы исследований

Термический анализ.

Термический анализ применяли для исследования фазового состава исходной материалов и готовой закладочной смеси. 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.

Причиной эндотермических эффектов на дифференциальной кривой могут быть следующие физико-химические процессами:

– дегидратацией вещества;

– диссоциацией;

– некоторыми полиморфными превращениями;

– плавлением;

Причинами экзотермического эффекта могут быть:

– реакция окисления;

– реакция образования новых соединений;

– полиморфные превращения, сопровождающиеся переходом неустойчи-вой при данной температуре модификации в устойчивую;

– переход из аморфного состояния в кристаллическое [2].

Получение кривых потери массы вещества ТГ при непрерывном нагрева-нии 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 [31]. Скорость подъема температуры в печи – 10 °С/мин, максимальная температура нагрева – 1000

°С. Для проведения испытания использовали платиновые тигли, нагрев проводили в среде азота.

2.2.3 Математическое планирование эксперимента.

Для назначения класса бетона по прочности необходимо воспользоваться формулой 1:

$$B=\frac{R_{сж}}{K_{т}}, \quad (1)$$

где В – класс бетона;

$R_{сж}$ – средняя прочность образцов, МПа;

$К_{т}$ – коэффициент требуемой прочности, МПа.

Коэффициент требуемой прочности $К_{т}$ назначается в зависимости от коэффициента вариации V по техническому регламенту [9]. Коэффициент вариации вычисляется по формуле 2.

$$V=\frac{S_y}{R_{сж}}*100, \quad (2)$$

где $S_{у}$ – среднеквадратическое отклонение;

$R_{сж}$ – средняя прочность образцов, МПа.

Для назначения количества образцов, необходимых для достоверного установления прочности бетона необходимо вычислить критерий Стьюдента $t_{(p,f)}$ (формула 3).

$$t_{(p,f)}=\frac{E_y}{S_y}*\sqrt{n}, \quad (3)$$

где $E_{у}$ – доверительная ошибка среднего значения,

n – количество испытаний.

Доверительная ошибка среднего значения вычисляется по формуле 20.

$$E_y = y_{ср} * e_y \quad (4)$$

где $y_{ср}$ – среднее значение серии испытаний;

e_y – доверительная ошибка среднего значения, %.

При доверительной вероятности 95% требуемого значения коэффициента Стьюдента назначается по таблице 7.

Таблица 7 – Значение критерия Стьюдента.

Число степеней свободы	Значение критерия Стьюдента	Число степеней свободы	Значение критерия Стьюдента
1	12,71	11	2,20
2	4,30	12	2,18
3	3,18	13	2,16
4	2,78	14	2,15
5	2,57	30	2,04
6	2,45	40	2,02
7	2,37	60	2,00
8	2,31	120	1,98
9	2,26	∞	1,96
10	2,23		

Для назначения числа испытания фактический критерий Стьюдента серии испытаний должен быть не менее требуемого.

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Исследование пригодности использования выбранной породы в качестве сырья для вяжущего и заполнителей

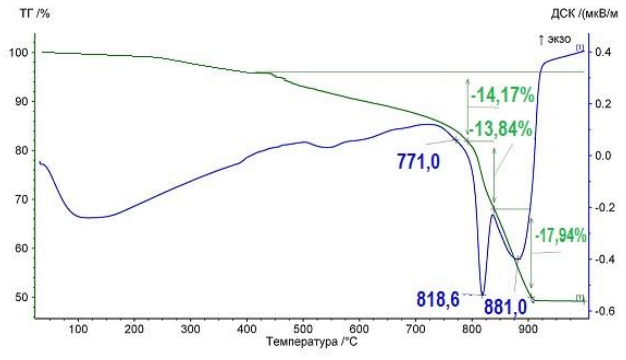
Для исследования фракционного состава шихты был произведен отбор 38 проб, которые в дальнейшем рассевали на ситах 40, 20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16. Полученные остатки на ситах вычислялись в процентах от массы пробы (таблица 8).

Таблица 8 – Среднее содержание фракций в пробах Саткинского доломита.

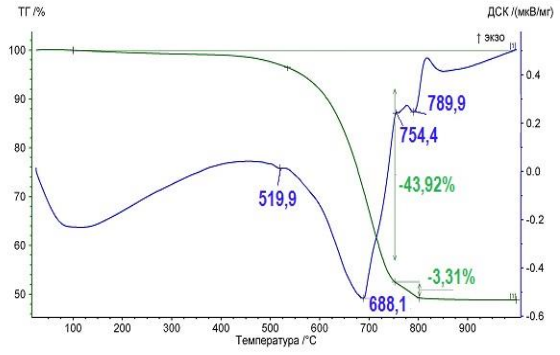
	Фракции, мм									
	> 40	20…40	10…20	5…10	2,5…5	1,25…2,5	0,63…1,25	0,315…0,63	0,16…0,315	0…0,16
Содержание, %	0-10	2-38	2-22	8-26	6-20	0-16	1-16	2-18	0-15	15-45
Среднее распределение фракций в пробах, %	5,49	14,13	9,71	8,82	6,99	5,31	4,82	3,86	2,94	37,76

Рентгенофазовый анализ проводили с целью выявления минералогического состава зерен фракций >40 и 0,16...0. По результатам рентгенофазового анализа установлено, что помимо основного минерала карбоната магния $MgCO_3$ (d|n = 2.7987, 2.1276, 1.6986 Å) в пробах, исследуемых фракций присутствуют примеси кальцита $CaCO_3$(d|n =3.0345, 1.8463, 1.8021 Å) , доломита $CaMg(CO_3)_2$ (d|n= 2.8837, 2.1905, 1.7843 Å) и железистых включений Fe_2O_3(d|n = 2.6671, 2.5365, 1.698 Å).

Для определения количественного содержания потенциально вредных примесей кальцита и доломита в различных фракциях сырьевой шихты использовали дериватографию. Отбор материала осуществляли из усредненных проб фракций 0…0 ,16 и ≥ 40 мм (рисунок 2).



а)



б)

Рисунок 2. Дериватограммы усредненной пробы доломита Саткинского месторождения фракции а) ≥ 40 мм, б) 0…0,16 мм.

Из полученных дериватограмм следует, что фракция ≥ 40 мм состоит преимущественно из карбоната кальция (кальцита), имеет в своем составе примеси карбоната магния и доломита, что делает эту фракцию непригодной для получения магнезиального вяжущего. Во фракции 0…0,16 мм преобладает минерал доломит, а также присутствуют примеси магнезита, кальцита и оксида железа. Используя стехиометрические уравнения, установили процентное содержание минералов в зернах исследуемых фракций. Результаты количественного анализа минералогического состава сырья различных фракций представлены в сводной таблице (таблица 9).

Таблица 9 – Минералогический состав проб различных фракций

Фракция		$MgCO_3$, %	$CaCO_3$, %	$CaMg(CO_3)_2$, %
>40 мм	Разброс значений	29…54	2,5…38	31,5…52
	Среднее	30	23	41
20…40 мм	Разброс значений	88…90	Следы	8…13
	Среднее	89		11
5…20 мм	Разброс значений	43…72	Следы	21,5…51,5
	Среднее	53		42
0,16…2,5 мм	Разброс значений	74…80	Следы	5…17
		69		11
0…0,16 мм	Разброс значений	75…84,5	Следы	3,5…19,7
	Среднее	80		12

Из результатов, приведенных в таблице, следует, что минералогический состав сильно различается в зависимости от фракции исследуемого сырья. Фракция более 40 мм преимущественно состоит из доломита (до 52 %), магнезита (до 54 %) и кальцита (до 32 %). Фракция 0…0,16 мм в основном содержит магнезит (до 84 %) и доломит (до 20 %). Согласно высокому суммарному содержанию соединений магния в породе, рассматриваемые фракции пригодны для производства магнезиального вяжущего.

Таким образом, можно сделать вывод, что примерно 40 % от общего количества исследуемого материала представлено фракциями, не являющимися крупным или мелким заполнителем, но пригодными в качестве

сырья для производства магнезиального вяжущего по комбинированному методу.

3.2 Исследования пригодности крупного заполнителя для производства тяжелого бетона

Необходжимо определить пригодность крупного заполнителя для тяжелого бетона согласно существующим техническим регламентам [22].

В качестве основных характеристик выбрали зерновой состав, содержание зерен пластичной и игловатой формы, содержание пылевидных частиц, марка щебня по дробимости, содержание зерен слабых пород, морозостойкость щебня и насыпная плотность щебня.

– зерновой состав щебня (процентное содержание фракции в заполнителе):

  f(40-70)-0 %,

  f(20-40)-5.4 %,

  f(10-20)-70.6 %,

  f(5-10)-22.4 %,

  f(<5)-1.6 %;

– содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы-30,92 % (4 группа по Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы);
– содержание глины в комках – 0 %;
– содержание пылевидных и глинистых частиц – 0,7 %;
– марка щебня по прочности (дробимости) – 1200;
– содержание зерен слабых пород – 3 %;

– морозостойкость щебня – F150;
– насыпная плотность щебня – 1,52 г/см^3;

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что данный крупный заполнитель пригоден для тяжелого бетона согласно регламенту.

3.3 Исследования пригодности мелкого заполнителя для производства тяжелого бетона

В качестве основных характеристик выбрали зерновой состав, модуль крупности песка, содержание пылевидных частиц и насыпная плотность песка.

– зерновой состав песка, обогащенного песка:
  f(2,5-5)-8,3 %,
  f(1,25-2,5)-23,6 %,
  f(0,63-1,25)-31,7 %,
  f(0,315-0,63)-24,8 %,
  f(0,16-0,315)-8,8 %;
– модуль крупности песка – 2,89;
– содержание пылевидных частиц – 0,2%;
– насыпная плотность – 1,58г/см^3;

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что данный мелкий заполнитель пригоден для тяжелого бетона [26].

3.4 Производство и исследования вяжущего на основе заданного сырья

Для проведения эксперимента исходную доломитовую породу измельчали в лабораторной мельнице при одинаковых параметрах помола, тонкость помола соответствовала остатку на сите №008 не более 15 %. Полученную смесь гранулировали с введением добавки хлорида калия 2%, гранулы в течение 2 часов выдерживали в камерной печи при заданных температурах. Обожженные гранулы измельчали в лабораторной мельнице, помол осуществляли при одинаковых параметрах.

Полученное вяжущее обладает следующими свойствами

– нормальная густота доломитового 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 – 85 МПа [29,27].

3.5 Разработка состава тяжелого магнезиального бетона на исследованном сырье

3.5.1 Расчёт состава тяжелого магнезиального бетона

Для расчета стартового состава тяжелого магнезиального бетона был принят метод, основанный на наибольшем заполнении объема бетонного композита тяжелым заполнителем.

Характеристики которые принимаются за исходные данные для расчета состава тяжелого магнезиального бетона представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Исходные данные

Характеристики	Наименование показателей	Обозначение	Единица измерения
Вяжущего	Плотность	$\rho_{вяж}$	г/см^3
	Активность (марка)	$R_в$	Мпа
Теста вяжущего	Б/МВ (отношение бишофита к магнезиальному вяжущему по массе)	Б/МВ	-
	Плотность	$\rho_{теста}$	г/см^3
Крупного заполнителя	Наибольшая крупность	НК	-
	Плотность зерен	$\rho_{щ\ ист}$	г/см^3
	Плотность насыпная	$\rho_{щ\ нас}$	г/см^3
	Влажность	W	%
Мелкого заполнителя	Плотность зерен	$\rho_{п\ ист}$	г/см^3
	Плотность насыпная	$\rho_{п\ нас}$	г/см^3
	Модуль крупности	МК	-
	Влажность	W	%

Расчёт пустотности заполнителей.

Расчёт пустотности необходим для дальнейших вычислений объемов незанятых заполнителями.

Пустотность – доля межзерновых пустот в насыпном объеме материале. Определяется только для сыпучих материалов (песок, щебень и т. д.) по формуле 5.

$$P=(1-\frac{\rho_{нас}}{\rho_{ист}})*100, \quad (5)$$

где $\rho_{нас}$ – насыпная плотность материала, г/см^3;

$\rho_{ист}$ – истинная плотность материала, г/см^3.

Расчёт массы щебня и песка.

Первичный расчёт массы щебня происходит по формуле 6.

$$mЩ_1 = \frac{\rho_{щ\ нас} * 1000}{k_{р.з.}} \quad (6)$$

где $\rho_{щ\ нас}$ – насыпная плотность щебня, г/см^3;

$k_{р.з}$ – коэффициент раздвижки зерен (Таблица 8).

В связи с отсуствием зависимостей для корректировки состава по соотношению заполнителей и вяжущего теста возникает необходимость воспользоваться таким коэффициентом как коэффициент раздвижки зерен. Он необходим для уменьшения количества контактных зон между заполнителями и создания оболочек из теста вяжущего вместо этих зон.

Значения коэффициентов раздвижки зерен представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Коэффициент раздвижки зерен

Расход цемента, кг	Коэффициент раздвижки зерен при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,30	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,4	1,46	-	-	-
450	1,52	1,56	-	-	-

Первичный расчет массы песка происходит по формуле 7.

$$mП_1 = \frac{P_щ * 1000 * \rho_{п\ нас}}{100} \quad (7)$$

где $P_щ$ – пустотность щебня, %;

$\rho_{п\ нас}$ – насыпная плотность песка, г/см^3.

Корректировка долей заполнителей в зависимости от наибольшей крупности щебня.

В зависимости от наибольшей крупности щебня и модуля крупности мелкого заполнителя его доля в смеси заполнителей необходимо корректировать.

Долю песка в смеси заполнителей по абсолютному объёму (r) выбираем в зависимости от наибольшей крупности щебня по таблице 12.

Таблица 12 – Доля песка в смеси заполнителей

Расход цемента, кг на 1 м3 бетона	Величина r при наибольшей крупности щебня, мм		
	10	20	40
200	0,45	0,42	0,39
300	0,42	0,39	0,36
400	0,39	0,36	0,33
500	0,36	0,33	0,30
600	0,33	0,30	0,27

Примечания:

1. Таблица составлена для песка с МК = 2, при увеличении (уменьшении) МК на 0,5 доля песка увеличивается (уменьшается) на 0,03.

2. При использовании гравия доля песка уменьшается на 0,05.

3. Для жестких бетонных смесей Ж > 20 с доля песка уменьшается на 0,04, при подвижных бетонных смесях с ОК не менее 10 см доля песка увеличивается на 0,04.

Окончательный расчёт массы щебня происходит по формуле 8.

$$mЩ_2 = (mЩ_1 + mП_1)*(1-r), \quad (8)$$

где $mЩ_2$ – скорректированная масса щебня, кг;

$mЩ_1$– первоначальная масса щебня, кг;

$mП_1$ – первоначальная масса песка, кг;

r – доля песка в смеси заполнителей (Таблица 10).

Окончательный расчёт массы песка происходит по формуле 9.

$$mП_2 = (mЩ_1 + mП_1) * r, \quad (9)$$

где $mП_2$ – скорректированная масса песка, кг;

$mЩ_1$– первоначальная масса щебня, кг;

$mП_1$ – первоначальная масса песка, кг;

r – доля песка в смеси заполнителей (Таблица 10).

Расчёт объема занимаемого цементным тестом.

Объем оставшийся между зернами заполнителей будет заполнено тестом вяжущего. Вычисляется формуле 10.

$$V_{теста} = \left(\frac{П_щ * 1000}{100}\right) - \left(\frac{mП_2}{\rho_{п\ нас}}\right) + \left(\frac{П_п * 1000}{100}\right) + \left(\frac{1000 - mЩ_2}{\rho_{щ\ нас}}\right), \quad (10)$$

где ($П_щ$/100*1000) – пустоты между зерен щебня, л;

($mП_2/\rho_{п\ нас}$) – объем занятый зернами песка, л;

($П_п$/100*1000) – пустоты между зерен песка;

($1000 - mЩ_2/\rho_{щ\ нас}$) – объем незанятый заполнителями.

Расчёт массы вяжущего и затворителя.

Для расчета массы вяжущего и затворителя необходимо рассчитать массу теста вяжущего. Масса теста вяжущего вычисляется по формуле 11.

$$m_{теста} = V_{теста} * \rho_{теста}, \quad (11)$$

где $m_{теста}$ – масса теста вяжущего, кг;

$V_{теста}$ – объем теста вяжущего, л;

$\rho_{теста}$ – плотность теста вяжущего, кг/см^3;

Для расчета долей вяжущего и затворителя в тесте вяжущего приведенный пропорциональные коэффициенты для различных значений Б/МВ в таблице 13.

Таблица 13 – Пропорциональное соотношение при определенном Б/МВ

Б/МВ	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	1,00	1,10
Части бишофита ($Ч_б$)	1,00	3,00	7,00	7,50	4,00	1,00	1,10
Части вяжущего ($Ч_{мв}$)	2,00	5,00	10,00	10,00	5,00	1,00	1,00
Сумма частей (S)	3,00	8,00	17,00	17,50	9,00	2,00	2,10

Массу заполнителя вычисляем по формуле 12.

$$mБ=\frac{mтеста}{S}*(Ч_б), \quad (12)$$

где mБ – масса раствора бишофита, л;

S, Чб – константы расчёта пропорций (Таблица 11).

Массу заполнителя вычисляем по формуле 13.

$$mМВ=\frac{mтеста}{S}*(Ч_{мв}), \quad (13)$$

где mМВ – масса магнезиального вяжущего, л;

S, Чмв – константы расчёта пропорций (Таблица 11).

3.5.2 Исследование свойств бетонной смеси и образцов разработанного бетона

Результаты исследования заполнителей и вяжущего приведены в сводной таблице, необходимой для расчёта состава тяжелого магнезиального бетона (таблица 14).

Таблица 14 – Исходные данные

Характеристики	Наименование показателей	Обозначение	Единица измерения	Значение
Вяжущего	Плотность	$\rho_{вяж}$	г/см^3	2,9
	Активность (марка)	$R_в$	Мпа	85
Теста вяжущего	Б/МВ (отношение бишофита к магнезиальному вяжущему по массе)	Б/МВ	-	0,5
	Плотность	$\rho_{теста}$	г/см^3	2,1
Крупного заполнителя	Наибольшая крупность	НК	-	20
	Плотность зерен	$\rho_{щ\ ист}$	г/см^3	2,9
	Плотность насыпная	$\rho_{щ\ нас}$	г/см^3	1,52
	Влажность	W	%	0
Мелкого заполнителя	Плотность зерен	$\rho_{п\ ист}$	г/см^3	2,98
	Плотность насыпная	$\rho_{п\ нас}$	г/см^3	1,58
	Модуль крупности	МК	-	2,894
	Влажность	W	%	0

С учётом полученных характеристик был произведен расчет состава магнезиальной бетонной смеси:

mЩ2=987,3 кг/м^3

mП2=796,2 кг/м3

mБ2=225 кг/м^3

mМВ2=453,5 кг/м3

Свойства получено бетонной смеси представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Свойства полученной бетонной смеси

Наименование показателей		Единица измерения	Значение (марка)
Подвижность		–	П2
Плотность		г/см^3	2,48
Сохраняемость		ч	1
Расслаиваемость	Водоотделение	%	0,1
	Раствороотделение	%	1

Прочность полученных на основе заданной рецептуры бетонных образцов представлена в таблице 16:

Таблица 16 – Прочность бетонных образцов 10*10*10 см

Возраст образцов	Номер образца	Прочность, МПа	Среднее значение, МПа
1 сутки	1	37,75	37,55
	2	36,8	
	3	38,1	
3 сутки	1	48,2	46,5
	2	45,4	
	3	45,9	
7 сутки	1	52,0	53,5
	2	54,3	
	3	54,2	
28 сутки	1	55,3	55,9
	2	56,4	
	3	56	

Значение критерия Стьюдента для образцов возрастом 28 суток $t_{(p,f)}$=5,19. Табличное значение требуемого критерия Стьюдента для трёх образцов $t_{(p,f)}$=4,3 (Таблица 6). В связи с тем что, фактический критерий Стьюдента больше требуемого количество образцов n=3 является достаточным для эксперимента с доверительной вероятностью P=95 % и доверительной ошибкой e_y=3 %.

Значение коэффициента вариации для образцов возрастом 28 суток V=0,99 %. Значение коэффициента требуемой прочности $К_т$ при коэффициенте вариации V=0,99 % и количестве образцов n=3по техническому регламенту равно $К_т$=1.07 [9].

Класс бетона при средней прочности $R_{сж}$=55,9 и $К_т$=1.07 равен В40

Таким образом, были получены образцы тяжелого бетона класса по прочности В40, со средней плотностью 2462 кг/м^3.

ВЫВОДЫ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

1.Фракционный и минералогический анализ исследованных пород Саткинских месторождений показал, что в отвалах содержится достаточное количество горных пород фракций соответствующих классификации крупного и мелкого заполнителей. Фракции менее 0,16 и более 40 мм содержат достаточное количество соединений магния для получения вяжущих на их основе.

2.В ходе эксперимента было выявлено соответствие фракций 5-40 и 0,16-5 мм техническим регламентам, что делает их пригодными для использования в качестве крупного и мелкого заполнителей соответственно.

3.Вяжущее полученное методом комбинированного обжига породы фракций менее 0,16 и более 40 мм соответствует нормативной документации регламентирующие свойства магнезиальных вяжущих. Имеет марку по активности М800

4.Бетонная смесь полученная по составу , рассчитанному по принципу абсолютных объемов на исследуемых сырьевых материалов имеет подвижность П2 и плотность 2483 кг/м^3. Бетон полученный на основе данной смеси имеет класс по прочности В40 и плотность 2462 кг/м^3

5.На поверхностях образца были обнаружены высолы, следовательно, концентрация затворителя подобрана некорректно. Решение данной проблемы возможно в дальнейших исследованиях.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Расчет затрат на производство продукции

Производство магнезиального вяжущего из доломитовой породы предполагает три основных направления – это производство вяжущего, крупного и мелкого заполнителей.

4.1.1 Затраты на производство крупного заполнителя

Затраты на производство крупного заполнителя приведены в таблицах 17-23.

Таблица 17 – Исходные данные

Вид изделия	Крупный заполнитель из доломитов
Количество рабочих дней	365
Продолжительность смены, ч	8
Производительность в смену, т	76,66
Количество смен в сутки	3
Производство в сутки, т	230

Таблица 18 – Стоимость энергоносителей и материалов

Наименование	Ед. изм.	Цена, руб. с НДС
Доломит Саткинского месторождения	т	300
Электроэнергия	кВт·ч	3,08

Таблица 19 – Производственные фонды для вяжущего из доломитов

Наименование	Цена, руб. с НДС	Кол-во	Итого
Вибрационный грохот фракций 5-70 мм	1,6 млн.	1	1,6 млн.
Бункер крупного заполнителя	70 тыс.	1	70 тыс.
Транспортирующее и дозирующее оборудование	1,2 млн.		1,2 млн.
ИТОГО	---	---	2 870 000

Таблица 20 – Потребление электроэнергии и природного

Электроэнергия	Мощность, кВт	Количество, шт	Общее	В смену, ч	Итого, в сут.	
					кВт·ч	руб.
Вибрационный Грохот фракций 5-70 мм	24	1	24	8	576	---
Трансп. и дозир. оборудование	8	1	8	8	192	---
Освещение	0,1	30	3	8	72	---
ИТОГО, электроэнергия в сутки					840	2587,2

Таблица 21 – Затраты на сырьевые материалы

Наименование	Расход сырья на т готовой продукции, кг	Цена сырья, руб./т	Затраты на сырье, руб./т
Доломит	1000	300	300
Итого			300

Таблица 22 – Основные фонды

Стоимость ОПФ	2 870 000р.	обогрев происходит за счет теплопотерь
Амортизационные отчисления, в год	287 000р.	

Таблица 23 – Расчет затрат на производство продукции

Вид затрат	Объем затрат, руб			
	в год	в месяц	в сутки	на 1 т
Сырье	24 840 000	2 070 000	69 000	300
Электроэнергия	931 392	77 616	2587,2	11,25
Отчисления на амортизацию ОПФ	287 000	23 916,7	797,22	3,46
Итого	26 058 392	2171532,7	72384,42	314,71

4.1.2 Затраты на производство мелкого заполнителя

Затраты на производство мелкого заполнителя приведены в таблицах 24–30.

Таблица 24 – Исходные данные

Вид изделия	Крупный заполнитель из доломитов
Количество рабочих дней	365
Продолжительность смены, ч	8
Производительность в смену, т	76,66
Количество смен в сутки	3
Производство в сутки, т	180

Таблица 25 – Стоимость энергоносителей и материалов

Наименование	Ед. изм.	Цена, руб. с НДС
Доломит Саткинского месторождения	т	300
Электроэнергия	кВт·ч	3,08

Таблица 26– Производственные фонды для вяжущего из доломитов

Наименование	Цена, руб. с НДС	Кол-во	Итого
Вибрационный Грохот фракций 0,16-5 мм	1,6 млн.	1	1,6 млн.
Бункер мелкого заполнителя	70 тыс.	1	70 тыс.
Транспортирующее и дозирующее оборудование	1,2 млн.		1,2 млн.
ИТОГО	---	---	2 870 000

Таблица 27 – Потребление электроэнергии и природного газа

Электроэнергия	Мощность, кВт	Количество, шт	Общее	В смену, ч	Итого, в сут.	
					кВт·ч	руб.
Вибрационный Грохот фракций 0,16-5 мм	24	1	24	8	576	---
Трансп. и дозир. оборудование	8	1	8	8	192	---
Освещение	0,1	30	3	8	72	---
ИТОГО, электроэнергия в сутки					840	2587,2

Таблица 28 – Затраты на сырьевые материалы

Наименование	Расход сырья на т готовой продукции, кг	Цена сырья, руб./т	Затраты на сырье, руб./т
Доломит	1000	300	300
Итого			300

Таблица 29 – Основные фонды

Стоимость ОПФ	2 870 000р.	обогрев происходит за счет теплопотерь
Амортизационные отчисления, в год	287 000р.	

Таблица 30 – Расчет затрат на производство продукции

Вид затрат	Объем затрат, руб			
	в год	в месяц	в сутки	на 1 т
Сырье	24 840 000	2 070 000	69 000	300
Электроэнергия	931 392	77 616	2587,2	11,25
Отчисления на амортизацию ОПФ	287 000	23 916,7	797,22	3,46
Итого	26 058 392	2171532,7	72384,42	314,71

4.1.3 Затраты на производство сырья для производства вяжущего

Затраты на производство сырья для производства вяжущего приведены в таблицах 31–37.

Таблица 31 – Исходные данные

Вид изделия	Крупный заполнитель из доломитов
Количество рабочих дней	365
Продолжительность смены, ч	8
Производительность в смену, т	46
Количество смен в сутки	3
Производство в сутки, т	138

Таблица 32 – Стоимость энергоносителей и материалов

Наименование	Ед. изм.	Цена, руб. с НДС
Доломит Саткинского месторождения	т	300
Электроэнергия	кВт·ч	3,08

Таблица 33 – Производственные фонды для вяжущего из доломитов

Наименование	Цена, руб. с НДС	Кол-во	Итого
Вибрационный Грохот фракций 0-0,16 мм	1,6 млн.	1	1,6 млн.
Вибрационный Грохот фракций >40 мм	1,6 млн.	1	1,6 млн.
Бункер мелкого заполнителя	70 тыс.	1	70 тыс.
Транспортирующее и дозирующее оборудование	1,2 млн.		1,2 млн.
ИТОГО	---	---	4 070 000

Таблица 34 – Потребление электроэнергии и природного газа

Электроэнергия	Мощность, кВт	Количество, шт	Общее	В смену, ч	Итого, в сут.	
					кВт·ч	руб.
Вибрационный Грохот фракций 0,16-5 мм	24	1	24	8	576	---
Вибрационный Грохот фракций >40 мм	24	1	24	8	576	---
Трансп. и дозир. оборудование	8	1	8	8	192	---
Освещение	0,1	30	3	8	72	---
ИТОГО, электроэнергия в сутки					1416	4361,28

Таблица 35 – Затраты на сырьевые материалы

Наименование	Расход сырья на т готовой продукции, кг	Цена сырья, руб./т	Затраты на сырье, руб./т
Доломит	1000	300	300
Итого			300

Таблица 36 – Основные фонды

Стоимость ОПФ	4 070 000 р.	обогрев происходит за счет теплопотерь
Амортизационные отчисления, в год	407 000 р.	

Таблица 37 – Расчет затрат на производство продукции

Вид затрат	Объем затрат, руб			
	в год	в месяц	в сутки	на 1 т
Сырье	24 840 000	2 070 000	69 000	300
Электроэнергия	1 570 060,8	130 838,4	4361,28	11,25
Отчисления на амортизацию ОПФ	407 000	33916,6	1130,5	8,19
Итого	26 817 060,8	2 234 755	74 491,78	319,44

4.1.4. Затраты на производство вяжущего

В дипломной работе была использована технологическая схема получения минерального вяжущего обжигом доломитовых пород с шлама карналлитовых хлораторов (ШКХ) в качестве добавки-интенсификатора для снижения температуры разложения магнезиальной составляющей породы.

В настоящее время на российском рынке нет вяжущего из доломитов. Поэтому для определения экономической эффективности произведем расчет дисконтированных затрат.

Основные данные и результаты расчетов приведены в таблицах 38–45.

Таблица 38 – Исходные данные

Вид изделия	Вяжущее из доломитов
Количество рабочих дней	365
Продолжительность смены, ч	8
Производительность в смену, т	38,33
Количество смен в сутки	3
Производство в сутки, т	115
Теплоноситель	Природный газ

Таблица 39 – Стоимость энергоносителей и материалов

Наименование	Ед. изм.	Цена, руб. с НДС
Доломит Саткинского месторождения	т	300
Электроэнергия	кВт·ч	3,08
Природный газ	$м^3$	3,8
ШКХ	т	500

Таблица 40 – Производственные фонды для вяжущего из доломитов

Наименование	Цена, руб. с НДС	Кол-во	Итого
Подовая печь с холодильником	25 млн.	1	25 млн.
Шаровая мельница	1,5 млн.	2	3 млн.
Бункер для сырого доломита	70 тыс.	1	70 тыс.
Бункер для ШКХ	70 тыс.	1	70 тыс.
Бункер для обожженного доломита	90 тыс.	1	90 тыс.
Бункер для вяжущего из доломитов	90 тыс.	1	90 тыс.
Гранулятор	775 тыс.	1	775 тыс.
Транспортирующее и дозирующее оборудование	1,2 млн.		1,2 млн.
ИТОГО	---	---	30 295 000

Таблица 41 – Потребление электроэнергии и природного газа

Электроэнергия	Мощность, кВт	Количество, шт	Общее	В смену, ч	Итого, в сут.	
					кВт·ч	руб.
Подовая печь	86	1	86	8	2064	---
Шаровая мельница	160	2	320	7	6720	---
Гранулятор	15	1	15	7	315	---
Трансп. и дозир. оборудование	8	1	8	8	192	---
Освещение	0,1	30	3	8	72	---
ИТОГО, электроэнергия в сутки					9363	28838
Природный газ	$м^3$/т	Количество, шт	Общее	В сутки, $м^3$	В сутки, руб	
Под. печь с холодильником (т-тура обжига 600°С)	42,5	1	42,5	4887,5	18572,5	

Таблица 42 – Затраты на сырьевые материалы

Наименование	Расход сырья на т готовой продукции, кг	Цена сырья, руб./т	Затраты на сырье, руб./т
Доломит	1200	319,44	383,3
ШКХ	24	500	12
Итого			395,3

Таблица 43 – Заработная плата

Персонал	Численность, чел	Отчисления на заработную плату в месяц, руб	Отчисления на заработную плату в год, руб
Мастер	2	50 000	600 000
Рабочие	14	224 000	2 688 000
Отчисления во внебюджетные фонды	34%		1 117 920
Итого			4 405 920

Таблица 44 – Основные фонды

Стоимость ОПФ	30 295 000р.	обогрев происходит за счет теплопотерь
Амортизационные отчисления, в год	3 029 500р.	

Таблица 45 – Расчет затрат на производство продукции

Вид затрат	Объем затрат, руб			
	в год	в месяц	в сутки	на 1 т
Сырье	16 365 420	1 363 785	45 459,5	395,3р.
Электроэнергия	10 381 680	865 140	28 838	250,76р.
Природный газ	6 686 100	557 175	18 572,5	161,5р.
Оплата труда	4 405 920	367 160	12 238,67	106,42р.
Отчисления на амортизацию ОПФ	3 029 500	252 458,33	8415,27	73,17р.
Итого	40 868 620	3 405 718,33	113 523,78	987,16

4.2 Сравнение себестоимости тяжелых бетонов на разных вяжущих

Для сравнения возьмем себестоимость производства бетона класса В40, полученного выше на магнезиальном вяжущем и бетон аналогичного класса на портландцементе.

Себестоимость тяжелых бетонов представлена в таблицах 45-46.

Таблица 45 – Стоимость материалов тяжелого магнезиального бетона класса В40.

Наименование	Количество	Цена, руб/кг	Стоимость, руб
Магнезиальное вяжущее	453,5 кг	0,987 руб/кг	447,6
Бишофит ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)	112,5 кг	7,5 руб/кг	843,75
Доломитовый щебень	987,3 кг	0,314 руб/кг	310,0
Доломитовый песок	796,2 кг	0,314 руб/кг	250,0
Вода техническая	112,5 л	0,14 руб/л	15,75
ИТОГО			1867,1

Таблица 46 – Стоимость материалов тяжелого цементного бетона класса В40.

Наименование	Количество	Цена, руб/кг	Стоимость, руб
Портландцемент (ПЦ 500 Д0)	444 кг	5 руб/кг	2220
Щебень гранитовый	1063 кг	1,19 руб/кг	1265
Песок карьерный	586 кг	0,3 руб/кг	175,8
Вода техническая	205 л	0,14 руб/л	28,7
ИТОГО			3689,5

На рисунке 3 приведена сравнительная диаграмма рыночных стоимостей закладочных смесей на разных вяжущих.

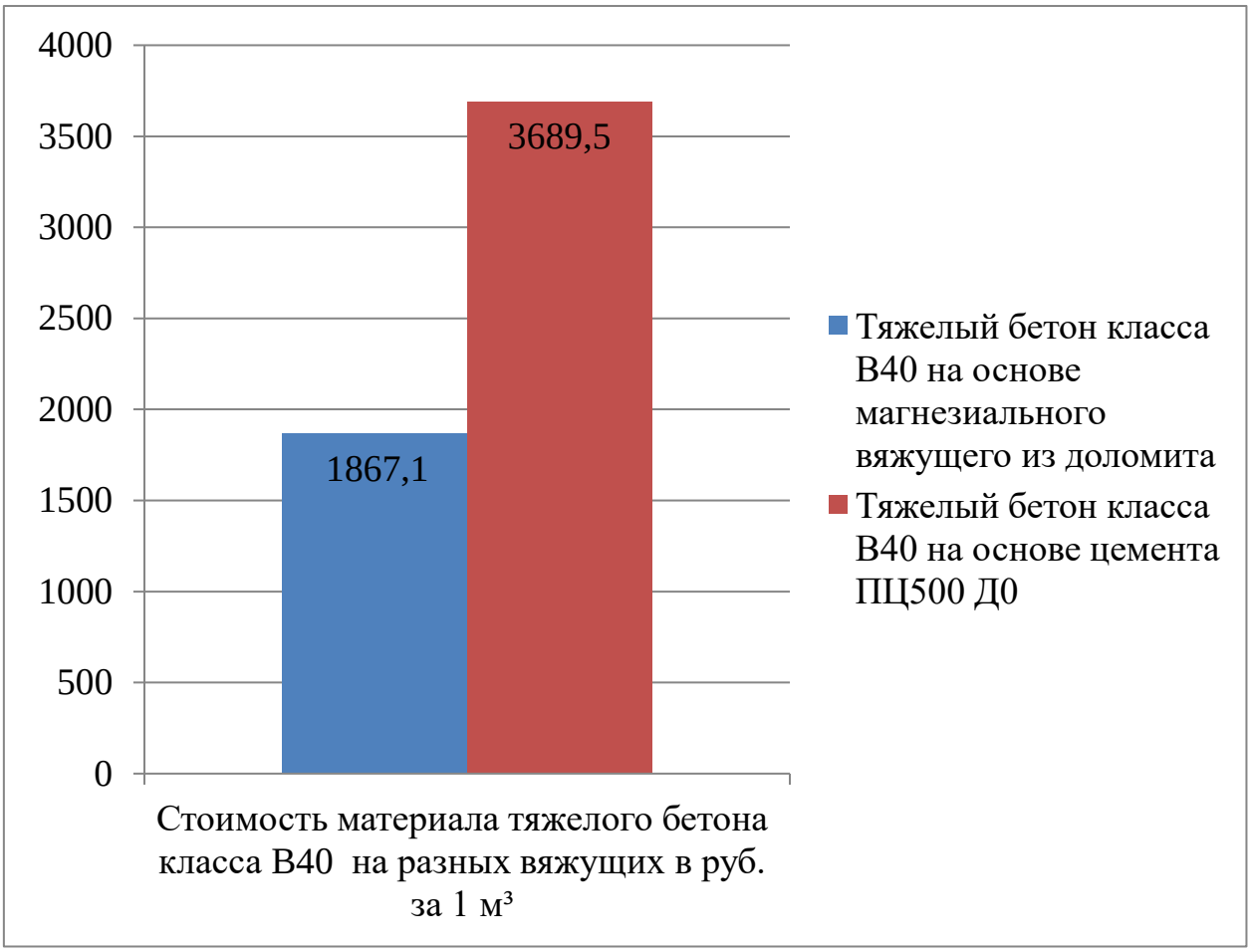


Рисунок 3 – Сравнительная диаграмма стоимости материалов тяжелого бетона класса В40 на разных вяжущих

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На территории Челябинской и других областей накопилось большое количество отходных отвалов, которые вредны для окружающей среды, поэтому решение этой проблемы является актуальным на сегодняшний день. Разработка магнезиального тяжелого бетона будет способствовать ускоренной переработке таких отвалов.
2. На основании результатов эксперимента было доказана пригодность использования доломита Саткинского месторождения для производства всех компонентов необходимых при производстве тяжелого бетона.
3. Был рассчитан состав бетонной смеси по скорректированному методу абсолютных объемов. Полученная бетонная смесь оптимального состава, соответствует техническим требованиям, предъявляемым к бетонным смесям. Испытание образцов показало возможность получения бетона высокого класса по прочности.
4. Полученный бетон экологически эффективен, так как при его производстве утилизируется отход промышленности –выработанные доломитовые породы на ОАО Комбинате «Магнезит», что значительно снизит нагрузку на окружающую среду.
5. Разработанный состав бетона экономически эффективен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов: учебник для ВУЗов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
2. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 334 с.
3. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (С Изменениями N 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
4. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 32 с.
5. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 28 с.
6. ГОСТ 10260-82 Щебень из гравия для строительных работ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.
7. ГОСТ 1216-87. Порошки магнезиальные каустические. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 20 с. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 14 с.
8. ГОСТ 12730.1—78. Бетоны. Методы определения плотности. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 8 с.
9. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 16 с.
10. ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия.– М.: Изд-во стандартов, 2013. – 11 с.
11. ГОСТ 23254-78 Щебень для строительных работ из попутно добываемых пород и отходов горно-обогатительных предприятий. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 8 с.
12. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 15 с.

13. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 13 с.

14. ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования.– М.: Изд-во стандартов, 2012. – 7 с.

15. ГОСТ 26644-85 Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 5 с.

16. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 5 с.

17. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 11 с.

18. ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 14с.

19. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 23 с.

20. ГОСТ 7759-73 Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 16 с.

21. ГОСТ 7759-73. Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 16 с. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 13 с.

22. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4). – М.: Изд-во стандартов, 1993.- 17 с.

23. ГОСТ 8268-93 Гравий для строительных работ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 13с.

24. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы

физико-механических испытаний (с Изменениями N 1, 2) . – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 65 с.

25. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 30 с.

26. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия (с Поправкой) . – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 11 с.

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

28. Орлов, А.А. Низкообжиговое магнезиальное вяжущее из бруситовых пород / А.А Орлов, Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, Б.Я. Трофимов, Е.С. Белобородова, // Вестник ЮУрГУ. – 2010. – №33. – С. 25–28.

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

30. Черных, Т.Н. Физико-химические закономерности получения энергоэффективных магнезиальных вяжущих веществ с улучшенными характеристиками и материалов на их основе [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук (05.17.11) / Черных Тамара Николаевна; «НИИ ТПУ». – Томск, 2016 – 329 с.

31. Горная энциклопедия. – http://www.mining-enc.ru/d/dolomit/.

32. Общая информация о бишофите. – http://www.vhim.net.ru/bishofit.htm.

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