

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА»**

На правах рукописи



АВДУШЕВА МАРИЯ АЛЕКСЕЕВНА

**МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИЕ СУСПЕНЗИИ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 2.1.5. Строительные материалы и изделия

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель:
Доктор химических наук, профессор
Айзенштадт А.М.**

Архангельск – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	14
1.1 Классификация методов контроля качества строительных материалов и изделий.....	16
1.2 Контроль качества изготовления буронабивных свай	17
1.3 Контроль качества бутовых фундаментов	22
1.4 Способы придания функциональных свойств композиционным материалам для разработки новых способов контроля качества	25
1.5 Предпосылки использования магитореологических суспензий как индикаторных жидкостей.....	31
1.6 Исследование свойств магитореологических суспензий и их применение	35
1.7 Выводы.....	39
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	40
2.1 Характеристика исходных материалов.....	40
2.1.1 Магнетит	40
2.1.2 Портландцемент.....	42
2.1.3 Песок	44
2.2 Методы исследований и научно-исследовательское оборудование ...	45
2.2.1 Исследование химического состава исходных материалов	50
2.2.2 Получение тонкодисперсных образцов	50
2.2.3 Анализ размера и поверхностного заряда частиц дисперсной фазы	52

2.2.4	Оценка площади удельной поверхности	52
2.2.5	Исследование гидрофильности поверхности.....	53
2.2.6	Контроль протолитических характеристик.....	53
2.2.7	Определение коэффициента светопропускания суспензии	54
2.2.8	Исследование электропроводящих свойств суспензии	54
2.2.9	Исследование физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик.....	55
2.3	Выводы.....	58
3	СОЗДАНИЕ УСТОЙЧИВОЙ МАГНИТОРЕЛОГИЧЕСКОЙ СУСПЕНЗИИ МАГНЕТИТА.....	60
3.1	Подготовка исходного материала	60
3.2	Получение тонкодисперсных систем на основе магнетита.....	61
3.3	Обеспечение агрегативной устойчивости дисперсной системы.....	68
3.4	Обеспечение седиментационной устойчивости дисперсной системы.....	75
3.5	Выводы.....	79
4	МАГНИТРЕОЛОГИЧЕСКАЯ СУСПЕНЗИЯ МАГНЕТИТА КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА И ИНДИКАТОРНАЯ ЖИДКОСТЬ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ	80
4.1	Исследование электропроводящих свойств магнитореологической суспензии магнетита.....	81
4.2	Зависимость физико-механических и деформационных характеристик цементно-песчаного раствора от концентрации МСМ.....	85
4.3	Оценка влияния добавки магнетита на структурообразование цементного камня.....	86
4.3.1	Кинетика тепловыделения при гидратации портландцемента	87

4.3.2	Пуццолановая активность тонкодиспергированного магнетита ...	90
4.3.3	Влияние МСМ на прочность цементного камня	92
4.4	Исследование электропроводящих свойств раствора	96
4.5	Электропроводность как параметр контроля качества	98
4.6	Использование МСМ при контроле сплошности ствола сваи	100
4.7	Компонент инъекционной смеси для закрепления бутовой кладки фундаментов	104
4.8	Индикаторная жидкость для осуществления контроля за герметичностью	106
4.9	Выводы	110
5	ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	112
5.1	Технико-экономическое обоснование разработанных методов контроля качества изделий	112
5.2	Внедрение результатов исследований	117
5.3	Разработка нормативной документации на производство магнитореологической суспензии магнетита и ее применение для контроля качества изделий	118
5.4	Выводы	119
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	124
	ПРИЛОЖЕНИЯ	145
	Приложение А. Санитарно-эпидемиологическое заключение по магнетиту	146
	Приложение Б. Протоколы определения ζ -потенциала	147
	Приложение Г. Заключение об обследовании ствола сваи	160

Приложение Д. Технический регламент на выявление и устранение дефектов буронабивной сваи	162
Приложение Е. Стандарт организации СТО 01-12.7-2021	163
Приложение Ж. Объекты интеллектуальной собственности	164

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, одним из приоритетных направлений является переход к новым материалам и способам конструирования. Современные строительные материалы и изделия помимо основных эксплуатационных характеристик должны обеспечивать требования, предъявляемые к ним по показателям энергоэффективности, экологичности и эксплуатационной надежности. Приобретение таких свойств может быть связано с введением в исходный состав различных добавок, среди которых выделяют: суспензии, ПАВ, минеральные порошки, наноразмерные добавки и пр. Другой энергетически рациональный путь – использование потенциала природных материалов, заложенный генезисом. Так, известно, что суспензии ферромагнитных частиц, находящиеся во взвешенном состоянии в несущей жидкости (магнитореологические жидкости), являются системами с магнитоуправляемыми микроносителями.

Магнитореологические жидкости обладают способностью практически мгновенно изменять электропроводящие свойства жидкотекучих сред. Этот эффект открывает возможности их применения в качестве составляющих строительных смесей, что позволит реализовать новые способы контроля качества, основанные на управлении электромагнитными характеристиками. Указанное положение составило суть *рабочей гипотезы* диссертационной работы. Создание способов контроля качества строительных материалов и изделий, основанных на применении магнитореологической суспензии, является предметом исследования данной работы, что актуально с научной и практической точек зрения.

Исследования выполнены в соответствии с Программой развития САФУ на 2010–2020 годы, в ходе мероприятий по модернизации научно-исследовательской и инновационной деятельности.

Степень разработанности темы. Современные тенденции строительства предъявляют высокие требования к качеству строительных материалов, а также изготавливаемых изделий. Контроль качества может осуществляться разрушающими и неразрушающими методами, регламентируемыми нормативной базой, при этом первый тип дает более точные сведения о свойствах материала. Энергетически более рациональными являются методы неразрушающего контроля, особенно в случаях недоступности визуального контроля, например при устройстве подземной части здания: буронабивных свай, отдельно стоящих и ленточных фундаментов и т.д. Распространенными методами являются: сравнение объема бетона, фактически использованного при бетонировании, с запланированным геометрическим объемом; бурение изделия с отбором кернов, сопровождаемое последующим испытанием образцов на раздавливание; склерометрический метод; шарошечное бурение; ультразвуковой метод.

Изучением проблем, связанных с нарушением сплошности бетонизируемых подземных изделий, занимаются ученые разных стран. Научно обоснованы различные способы осуществления контроля качества, однако, почти все из них позволяют оценить прочность после затвердевания бетона, или инъекционного раствора, когда исправить дефект нельзя. Таким образом, высокую эффективность практического использования представляют методы, позволяющие оценить качество изделия до начала твердения раствора. В связи с этим перспективным будет являться решение, связанное с использованием магнитореологической суспензии, позволяющей применять электромагнитные методы контроля, что до настоящего времени в строительной сфере не рассматривалось.

Цель работы. Разработка научно обоснованных методов контроля качества изготовления строительных изделий, основанных на применении

функциональной добавки на основе агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита.

Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:**

- систематизация данных по созданию магнитореологических суспензий и изучению их свойств;
- обоснование выбора исходных материалов и технологических приемов их подготовки, выделение технологических и рецептурных факторов, обеспечивающих получение тонкодисперсной фазы, подбор условий для создания агрегативно-устойчивой суспензии;
- изучение влияния магнитореологической суспензии магнетита на свойства бетонных и инъекционных смесей, разработка рациональных составов;
- создание информативных методов контроля качества строительных материалов и изделий; апробация разработанных технологических решений.

Научная новизна работы. Разработаны научно обоснованные технологические решения, направленные на контроль качества изготовления и оценку эксплуатационного состояния строительных материалов и изделий, заключающиеся в использовании водной суспензии частиц магнетита как индикаторной жидкости, динамика изменения электропроводящих свойств которой в составе материалов на минеральных вяжущих позволяет оценивать их структурообразование, а в объеме строительных изделий – их дефектность. Применение агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита в составе строительной смеси в качестве добавки позволяет проводить оценку степени заполнения бетонным раствором бутового фундамента и буронабивных свай в процессе бетонирования. Использование агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита как самостоятельной индикаторной системы положено в основу метода контроля герметичности и целостности защитного экрана накопителей радиоактивных отходов до начала эксплуатации.

Установлено отсутствие негативного влияния агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита на структурообразование цементного камня при концентрации магнетита в диапазоне 1–5 % от массы портландцемента (удельная поверхность частиц магнетита $102 \text{ м}^2/\text{кг}$). При концентрации магнетита равной 5 % от массы портландцемента продолжительность контроля за процессами структурообразования цементного камня (по сравнению с контрольными образцами) можно увеличить в два раза.

Установлены механизмы и факторы, определяющие агрегативную устойчивость магнитореологической суспензии магнетита, а также значение водородного показателя ($\text{pH} > 7$), обеспечивающего получение агрегативно и седиментационно устойчивой суспензии магнетита (85 % частиц твердой фазы размером менее 1 мкм). Это позволило установить функциональную взаимосвязь между концентрационными и электропроводящими параметрами агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита как самостоятельной индикаторной системы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Дополнены научные представления о возможностях применения принципов электромагнитной индукции в строительных растворах при введении направлено синтезируемых добавок. Показано, что электромагнитные эффекты в данных системах подчиняются законам электрической проводимости.

Разработаны состав и режим получения агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита.

Даны рекомендации по составу цементно-песчаных растворов с оптимальным содержанием агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита, позволяющие получить требуемые прочность и эксплуатационные характеристики.

Разработан способ контроля качества изделий, получаемых в ходе инъекционного закрепления фундамента и устройства свай, изготавливаемых непосредственно в грунте.

Разработан метод контроля за герметичностью экрана в основании накопителя в предэксплуатационный период.

Методология и методы исследования. Методология работы основывается на трудах отечественных и зарубежных исследователей по тематике, связанной с получением, изучением свойств и применением ферромагнитных жидкостей.

При выполнении исследований использовано современное высокотехнологичное оборудование, методы исследований и испытаний, регламентированные отечественными и зарубежными нормативными документами, а также аналитические и численные методы прикладной математики. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием современных физико-химических методов исследования: рентгенофлуоресцентный, рентгенофазный, фотонно-корреляционный, сорбционный, потенциометрический и др. Физико-механические показатели строительных изделий оценивались в соответствии со стандартными методиками. Реализация инструментального сопровождения работы основывалась на приборной базе научной установки «Физикохимия поверхности нанодисперсных систем» и ЦКП «Арктика» САФУ.

Положения, выносимые на защиту:

- обоснование методологии создания добавок для строительных растворов, базирующейся на использовании агрегативно устойчивой тонкодисперсной суспензии магнетита;
- характер влияния разработанной суспензии на основе магнетита на физико-механические и эксплуатационные характеристики цементно-песчаных растворов;

- принципы применения разработанной магнитореологической суспензии магнетита в качестве добавки в строительные смеси для контроля за степенью заполнения швов бутовой кладки и обеспечением сплошности ствола изготавливаемой в грунте сваи, путем измерения электрического сопротивления;

- принципы применения разработанной магнитореологической суспензии магнетита в качестве индикаторной жидкости, позволяющей осуществлять контроль за герметичностью экрана в основании накопителя.

Степень достоверности результатов диссертационного исследования. Достоверность полученных результатов обеспечена применением стандартных методов исследования, а также результатами статистической обработки данных, показавшими значения коэффициентов доверительной вероятности не менее 0,95. Надежность экспериментальных исследований обеспечена использованием отработанных методик, достаточным количеством параллельных испытаний, а также применением современного поверенного оборудования.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на следующих международных и всероссийских научно-практических конференциях: второй региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные молодежные исследования физики дисперсных сред и твердой Земли в Арктическом регионе» (г. Архангельск, 2017 г.), II международной молодежной конференции «Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию», (г. Архангельск, 2018), международной научно-технической конференции «Геотехника Беларуси: наука и практика» (Беларусь, г. Минск, 2018 г.), международном конгрессе GeoMEast 2018 (Египет, Каир, 2018 г.), II Международном онлайн-конгрессе «Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды

обитания человека» (г. Белгород, 2019 г), XX International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2020 (Болгария, Албена, 2020 г).

Внедрение результатов исследований. Апробация разработанных методов контроля качества изготовления строительных изделий осуществлена на предприятии ООО «Юбилейное», г. Архангельск при устройстве буронабивных свай, где использовался разработанный метод контроля сплошности бетонирования ствола.

Для масштабного внедрения результатов научных исследований разработаны нормативные документы: СТО 01-12.7-2021 «Магнитореологическая суспензия магнетита. Технические условия»; технический регламент на выявление и устранение дефектов буронабивной свай.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований и промышленной апробации используются в образовательном процессе при подготовке специалистов по направлению 08.05.01 «Строительство уникальных знаний и сооружений»; бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство»; магистров по программе 08.04.01 «Строительство».

Публикации. Тематика диссертационного исследования изложена в 12 научных работах, включая 3 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 1 статью в издании, индексируемом в базе данных Scopus, 4 патента РФ на изобретение.

Личный вклад автора. Автором самостоятельно произведен сбор и анализ литературных данных, выбор объектов и методов исследования, разработана программа экспериментальных испытаний, получены, обобщены и проанализированы результаты исследований, а также выполнена подготовка материалов публикаций.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 167 страницах машинописного текста, включающего 54 рисунка, 32 таблицы, список литературы из 173 наименований, 7 приложений.

Область исследований. Соответствует паспорту научной специальности 05.23.05 (2.1.5) «Строительные материалы и изделия», п. 8 Развитие системы контроля и оценки качества строительных материалов и изделий.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

При возведении новых зданий и сооружений, реконструкции или реставрации существующих, а также при производстве работ по ремонту наибольший объем затрат приходится на обеспечение строительства материальными ресурсами. По данным Росстата [1] на протяжении 2020–2021 годов среди факторов, ограничивающих производственную деятельность строительных организаций, наибольший вес имеет критерий «Высокая стоимость материалов, конструкций, изделий» (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Факторы, ограничивающие производственную деятельность строительных организаций

Анализ распределения затрат в строительной сфере в Архангельской области с 2005 по 2019 года показал, что на протяжении всего рассматриваемого периода, объем материальных затрат составлял более 50% [2] (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Распределение затрат в строительной сфере по Архангельской области

В «Инвестиционной стратегии Архангельской области на период до 2025 года» [3], утвержденной Правительством Архангельской области, отмечено, что одной из важных проблем, требующих особого внимания и решения, является высокая стоимость материалов и конструкций. При этом одним из перспективных направлений развития строительной отрасли является повышения эффективности за счет внедрения новых технологий производства работ. Снижение затрат на материальные ресурсы возможно при реализации системы оперативного и высокоинформативного контроля качества строительных материалов и изделий, в том числе изготавливаемых непосредственно на строительной площадке.

1.1 Классификация методов контроля качества строительных материалов и изделий

Строительный контроль осуществляется в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства для подтверждения и оценки соответствия выполняемых работ требованиям, предъявляемым к ним проектной документацией и техническими регламентами [4].

Контроль качества, осуществляемый на строительной площадке, различают по уровню контролирующей организации:

- государственный строительный контроль производится управлением Главгосэкспертизы, главным управлением капитального строительства, государственными службами пожарного надзора и т.д.
- общественный строительный контроль выполняют службы местного строительного контроля, профсоюзные организации, технические инспекции;
- ведомственный контроль осуществляется силами застройщика, который самостоятельно контролирует качество выполнения строительно-монтажных работ, а также готовой продукции на всех этапах строительства.

По этапу осуществления контроля качества различают [5]:

- входной контроль: проверка материалов и изделий, поступающих на строительную площадку с заводов изготовителей на соответствие требованиям нормативных документов, указанных в проектной документации [6-10];
- операционный контроль: проверка качества выполнения строительно-монтажных работ непосредственно во время их осуществления с занесением результатов операционного контроля в журналах работ [11, 12];
- освидетельствование работ: оценка выполненных работ, качество которых не может быть оценено после перехода к следующему циклу работ ввиду принятой технологии, но результаты которых могут повлиять в

последующем на безопасность объекта (на выполненные работы оформляются акты освидетельствования скрытых работ) [13];

- приемочный контроль: определяет соответствие в полном объеме готовой продукции действующей нормативной документации, указанной в проекте или техническом задании [14, 15].

Особенно высокие требования предъявляются к работам, связанным с бетонированием скрытых конструкций, в том числе при устройстве и реконструкции фундаментов, так как ошибки на данном этапе строительства могут привести к серьезным последствиям: неравномерная передача нагрузки на основание, развитие предельно допустимых деформаций в элементах каркаса, разрушение конструкций или части здания [16-18].

1.2 Контроль качества изготовления буронабивных свай

Строительство зданий в условиях плотной городской застройки, когда отсутствует возможность обеспечения безопасного расстояния от существующих зданий, инженерных сооружений и коммуникаций, значительно усложняет технологию и увеличивает объемы работ по устройству фундаментов. Такие условия накладывают ограничения, в том числе и на способ погружения свай. Среди наиболее распространённых методов, позволяющих снизить динамическое воздействие на окружающую застройку, являются следующие: ограничение энергии и частоты удара молота, использование вдавливающих установок, устройство лидерных скважин и др. [19, 20]. Однако наименьшее воздействие обеспечивается путем устройства буровых свай [21].

В общем случае технология изготовления буронабивных свай включает следующие операции:

- проходка скважины;
- зачистка забоя;
- погружение в скважину арматурного каркаса;

- подача бетонной смеси;
- формирование оголовка.

В структурно неустойчивых грунтах устройство свай ведется под защитой обсадной трубы, в связи с чем к стандартной последовательности добавляются этапы, связанные с погружением и извлечением инвентарной обсадной трубы.

Наиболее распространёнными являются следующие технологии устройства буронабивных свай:

- бетонирование методом вертикально перемещаемой трубы (ВПТ) предполагает последовательное выполнение основных этапов: проходка скважины, зачистка, погружение арматурного каркаса, укладка бетонной смеси [19, 22];

- система CFA (Continuous Flight Auger) – метод непрерывного полого шнека (НПС) – позволяет выполнять одновременно проходку и очистку скважины от шлама в момент погружения шнека, а в процессе подъема осуществляется бетонирование, после чего погружается арматурный каркас;

- технология «Double Rotary» заключается в противоположном вращении обсадной трубы и размещенного в ней шнека при проходке скважины, бетонирование также осуществляется при подъеме шнека и обсадной трубы, после чего погружается арматурный каркас;

- сваи «Fundex» устраиваются путем вращательно-вдавливаемого погружения обсадной трубы с теряемым наконечником, после чего в трубу опускается арматурный каркас и подается бетонная смесь, по завершении бетонирования обсадная труба извлекается.

Классификация буронабивных свай по способу изготовления выделяет четыре основных типа (таблица 1.1). Необходимость применения определенного типа свай обуславливается инженерно-геологическими

условиями площадки строительства, а также предполагает использование определенного типа буровой установки.

Таблица 1.1 – Типы буронабивных свай [23]

Обозначение	Наименование свай	Допустимые грунтовые условия	Буровые установки
БСС (БСС _м)	Бурнабивные сплошного сечения	Наличие связных маловлажных грунтов	СО-2
	Бурнабивные сплошного сечения для малонагруженных зданий		СО-1200
БСВ _о	Бурнабивные сплошного сечения с неизвлекаемыми обсадными трубами	Наличие оползневых участков,	УБР-3АМ УКС
БСИ	Бурнабивные сплошного сечения с извлекаемыми обсадными трубами	глинистых грунтов с текучей консистенцией	СП-45 «Benoto» «Bauer»
БСВ _г	Бурнабивные сплошного сечения, бетонируемые под защитой глинистого раствора	Неустойчивые водонасыщенные грунты	УБР-3АМ

Научно обоснованы и получили широкое распространение различные способы контроля качества работ при устройстве фундаментов с буронабивными сваями [24-26] (рисунок 1.3).

Среди выделенных способов контроля сплошности ствола готовой сваи на практике чаще всего применяют методы:

- ультразвуковой дефектоскопии,
- акустический метод,
- выбуривание керна с испытанием образцов на одноосное сжатие.

Метод ультразвуковой дефектоскопии считается наиболее привлекательным, так как обладает повышенной точностью измерений, а также не нарушает целостность изделия.

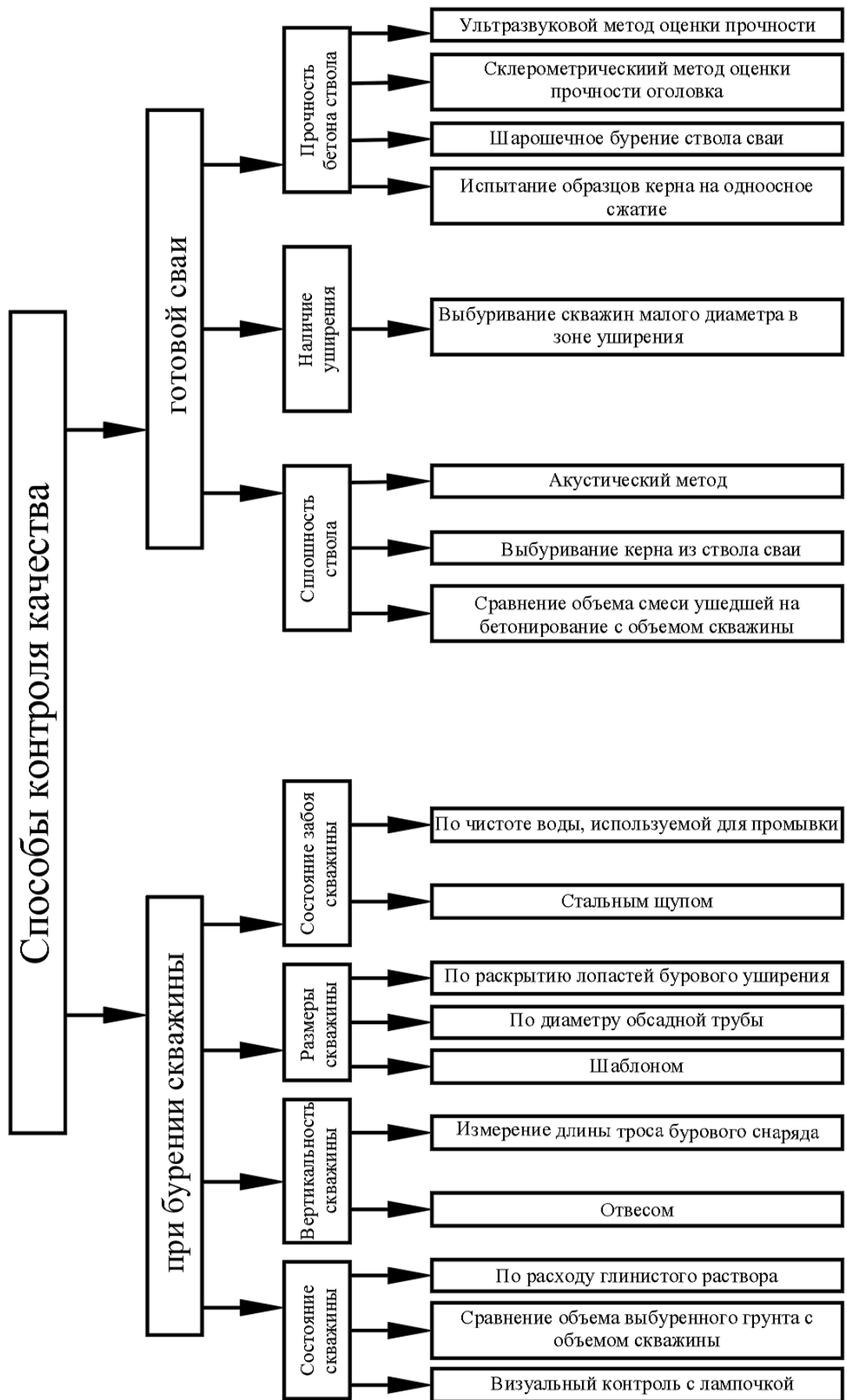
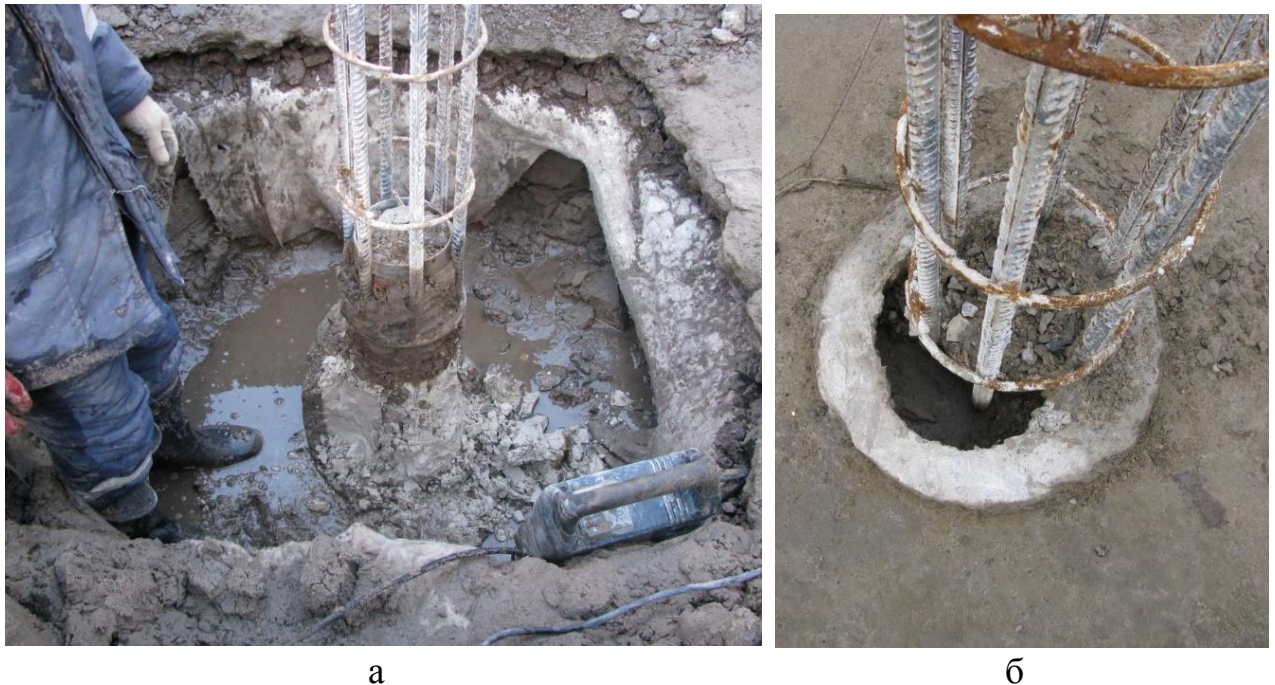


Рисунок 1.3 – Способы контроля качества буронабивных свай

Анализ существующих методов контроля качества позволил выявить существенный недостаток: среди известных методов выделены способы контроля качества ствола скважины и уже готовой сваи, при этом не известны методы контроля качества в процессе бетонирования [27]. Отсутствие контроля качества ствола по мере заполнения скважины бетонной смесью приводит к образованию дефектов [28]. Характерными проблемами при устройстве таких свай являются нарушение целостности ствола из-за вывалов грунта в скважину, оголение арматурного каркаса, размывание бетонной смеси грунтовыми водами и т.д. (рисунок 1.4)



а) разрушение ствола сваи; б) образование полости в результате некачественного бетонирования

Рисунок 1.4 – Дефекты ствола сваи

Разработка метода контроля качества бетонирования позволит значительно сократить объемы работ по устройству фундаментов, а также связанные с этим затраты.

1.3 Контроль качества бутовых фундаментов

В настоящее время существует большое количество исторических зданий и памятников архитектуры, построенных в XIX – начале XX веках, для которых требуется проведение работ по восстановлению и укреплению фундаментов. Причиной тому может быть неудовлетворительное состояние конструкций, переустройство здания или новое строительство на близлежащей территории [29]. Наиболее часто у исторических зданий встречаются фундаменты, конструкция которых представляет собой бутовую кладку на известковом растворе. Такой способ устройства получил наибольшее распространение благодаря возможности применения местных материалов. В этом случае потеря несущей способности происходит в результате деструкции известкового раствора, применяемого при строительстве (рисунок 1.5, 1.6). Причиной деструкции является агрессивное воздействие грунтовых вод, переменное замораживание-оттаивание в условиях знакопеременных температур, что приводит к разрушению и даже полному вымыванию раствора из тела фундамента [30-32].



Рисунок 1.5 – Разрушение бутового фундамента



Рисунок 1.6 – Отсутствие раствора в бутовой кладке фундамента

Технология производства работ по восстановлению подземных конструкций зданий весьма трудоемка. Среди существующих методов широкое распространение получили следующие:

- устройство защитной стенки (рисунок 1.7 а);
- заполнение пустот инъекционным раствором (рисунок 1.7 б);
- устройство бетонной обоймы (рисунок 1.7 в);
- устройство одностороннего банкета (рисунок 1.7 г);
- пересадка фундамента на сваи (рисунок 1.7 д);
- применение микросвай (рисунок 1.7 е).

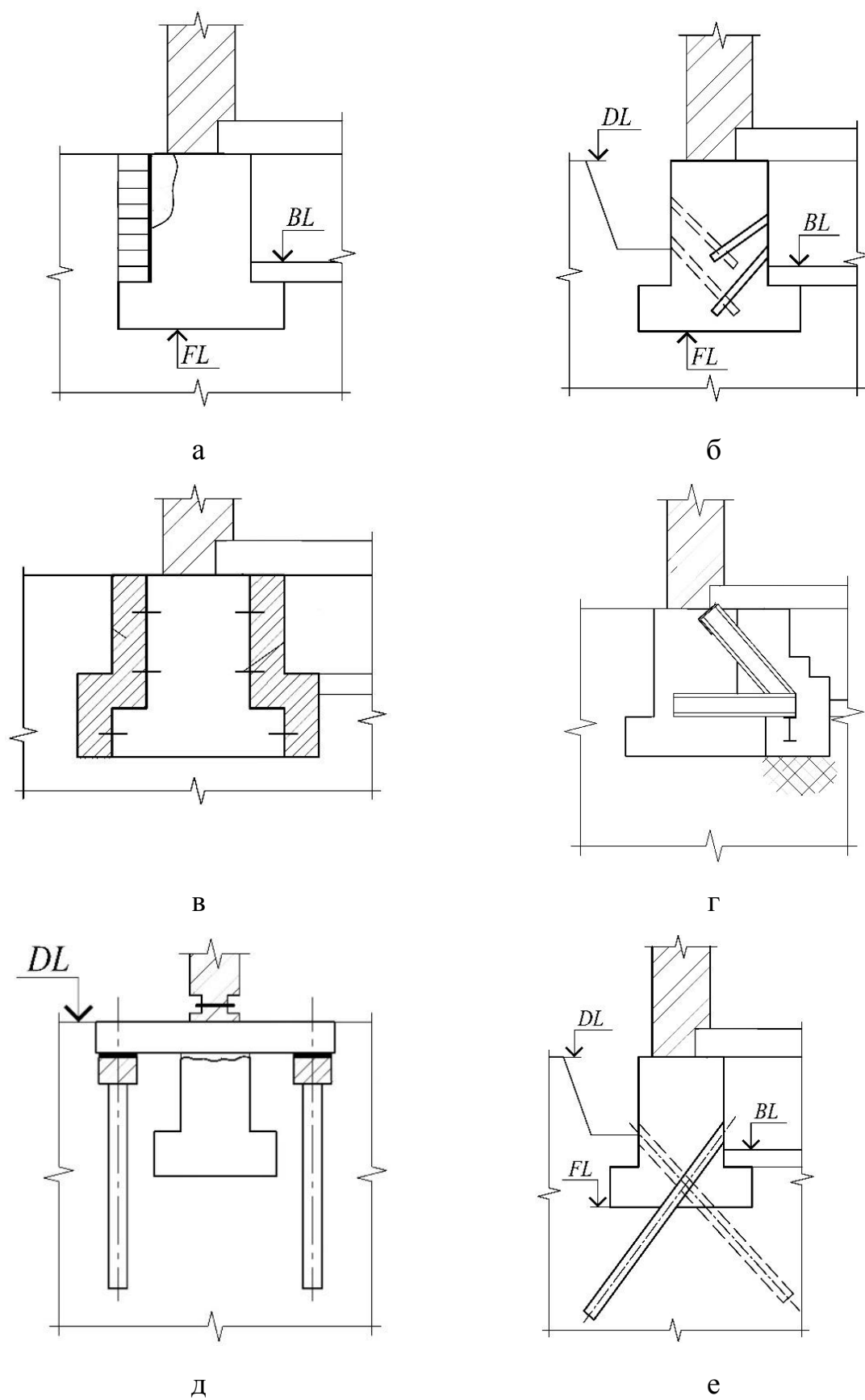


Рисунок 1.7 – Способы усиления бутового фундамента [33]

Среди указанных способов чаще всего на практике применяется нагнетание раствора через специальные инъекторы [20]. Недостатком таких работ является отсутствие контроля за целостностью и полнотой заполнения пустот в кладке, а учитывая значимость реконструируемых объектов эти параметры играют значительную роль [32].

Таким образом, весьма актуальным является вопрос разработки новых способов производства работ, позволяющих усовершенствовать существующие технологии и повысить качество выполняемых работ. Данная цель может быть достигнута, например, путем осуществления оперативного текущего контроля за выделенными (или приданными) функциональными свойствами применяемых строительных растворов. Вместе с тем, результаты научных исследований, связанные с использованием различных добавок в строительные растворы, показали, что их использование позволяет проводить функционализацию свойств композита-полуфабриката, применяемого в индустрии строительных материалов [34-47].

1.4 Способы придания функциональных свойств композиционным материалам для разработки новых способов контроля качества

Современные строительные материалы обладают широким спектром специализированных свойств, позволяющих значительно расширить условия их применения [48-51]. Добиться таких результатов удалось благодаря совершенствованию и разработке новых методик создания, в том числе путем введения тонкодисперсных наноразмерных добавок [52-63]. Например, в результате корректировки состава бетонной смеси можно повысить значения удобоукладываемости, увеличить время до начала схватывания, а также в результате твердения получить бетон повышенной прочности и высокой морозостойкости [64-69].

Многие из современных строительных материалов представляют собой дисперсные системы, например: лаки, красители, смазочные материалы,

вяжущие и др. [70, 71]. Одним из важнейших в последнее время направлений научных исследований стало изучение взаимодействия составных частей материала изучение поверхностных явлений и дисперсных систем [72-77].

Процесс создания тонкодисперсной фракции является весьма энергоемким и зависящим от ряда факторов (метод получения, вид оборудования, свойства исходного материала) [78-85]. Наиболее распространенные способы получения нано- и макродисперсных частиц представлены на рисунке 1.8.

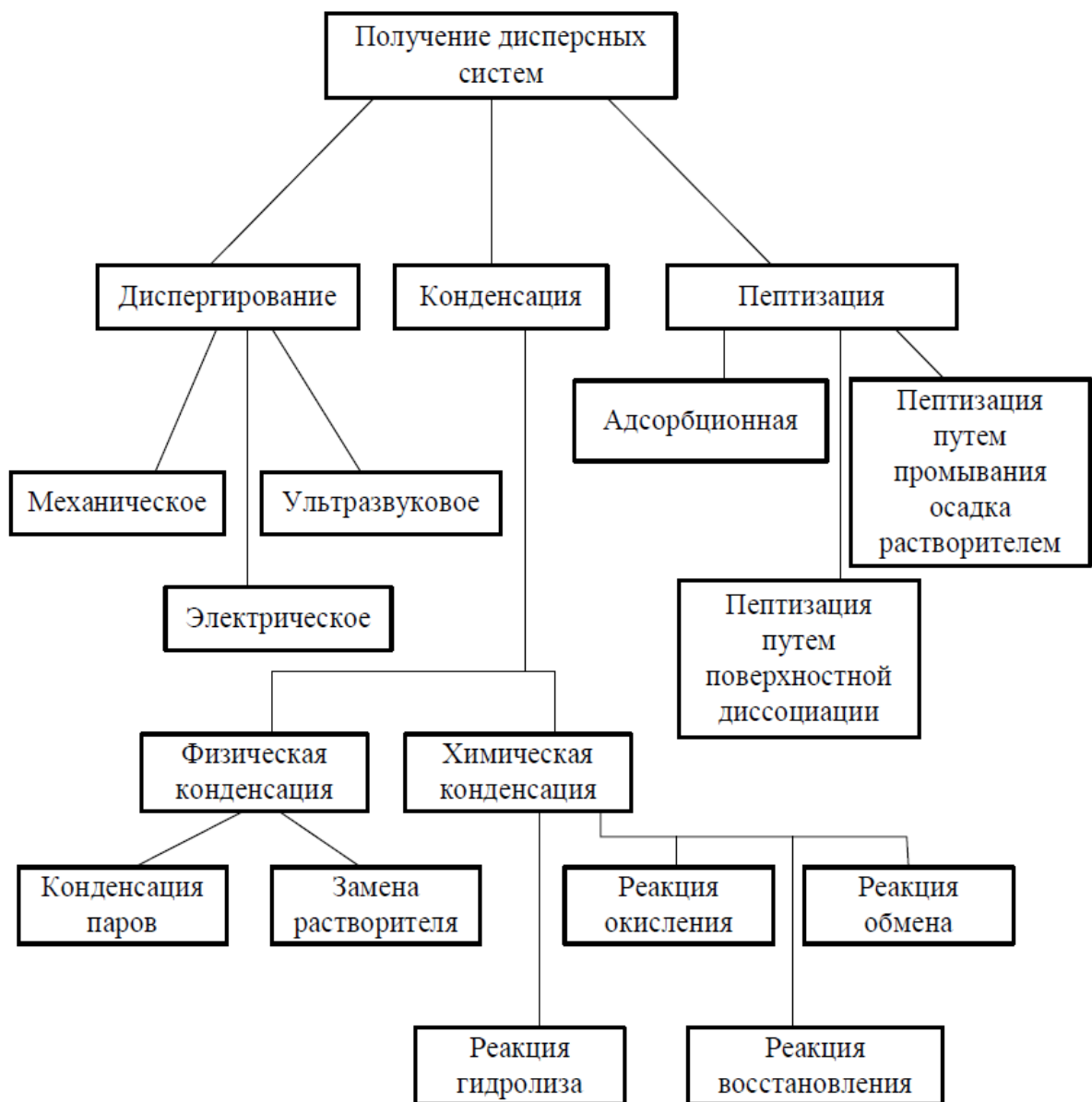


Рисунок 1.8 – Способы получения дисперсных систем [86]

Широкое распространение, благодаря своей доступности и простоте выполнения, получили способы механического диспергирования. При использовании мельниц происходит взаимное действие сил трения ударного воздействия на измельчаемый материал, как результат – получение большой кинетической энергии. Используя данный метод в промышленности, производят цемент, сухие строительные смеси, сухие краски, суспензии. В шаровых мельницах можно получить частицы размером порядка 100 нм. С целью упрощения процесса диспергирования, возможно применение способа «мокрого помола» с введением ПАВ, в этом случае возникает «эффект Ребиндера», когда образование новой поверхности облегчается за счет адсорбции на ней ПАВ.

Другим, весьма эффективным размольным агрегатом является коллоидная мельница, принцип работы которой основан на истирании грубодисперсных фракций. Результатом помола в коллоидных мельницах является суспензия или коллоидный раствор, в котором измельчаемый материал распределяется по всему объему дисперсионной среды. [86]

Важной характеристикой любой дисперсной системы является ее степень раздробленности, или дисперсность (D). Это величина обратно пропорциональная поперечному размеру частиц (a) и определяемая по формуле:

$$D = \frac{1}{a}, \quad (1.1)$$

Чем больше дисперсность системы, тем меньшим размером обладают частицы. Отношение площади поверхности всех частиц (S) к массе вещества (m) обозначается параметром площадь удельной поверхности ($S_{уд}$) и рассчитывается по формуле:

$$S_{уд} = \frac{S}{m}, \quad (1.2)$$

Увеличение суммарной поверхности, обусловленное высокой дисперсностью, означает возрастание поверхности раздела между дисперсной фазой и дисперсной средой. На частицы, находящиеся на границе раздела, действуют некомпенсированные силы Ван-дер-Вальсовой природы, в связи с чем у них наблюдается избыточный запас свободной энергии (F). Свободная энергия системы определяется по формуле:

$$F = \sigma \cdot S, \quad (1.3)$$

где σ – поверхностное натяжение;

S – площадь поверхности раздела.

Большой запас поверхностной энергии является параметром, определяющим свойства тонкодисперсной системы, такие как: агрегативная устойчивость, адсорбционная способность, каталитическое действие и т.д.

Известен зарубежный опыт применения добавок в суспензионном виде [87]. Исследования ряда авторов показали, что наибольшая степень однородности распределения компонентов смеси достигается при включении в исходный состав не порошковых добавок, а суспензий [88], при этом необходимо выполнение условий, обеспечивающих устойчивость используемых суспензий:

- дисперсности;
- равномерности распределения дисперсионной фазы в дисперсионной среде.

Первый параметр объясняется агрегативной способностью частиц дисперсной фазы, то есть их способностью к укрупнению. Второй обусловлен самопроизвольным оседанием.

Агрегативная устойчивость системы определяется следующими факторами:

1. Электростатическим барьером – взаимное отталкивание одноименно заряженных частиц. Так как вокруг частиц существует двойной

электрический слой, то их отталкивание возможно в случае, когда диффузные слои перекрываются.

2. Адсорбционно-сольватным барьером, когда сближению и коагуляции частиц препятствует окружающий их сольватный слой. Наибольшую агрегативную устойчивость имеют системы с наличием на поверхности частиц дисперсной фазы адсорбированных длинноцепочечных ПАВ или высокомолекулярных соединений.

Седиментационная устойчивость – это способность частиц дисперсной фазы сопротивляться воздействию силы тяжести. Данное явление обусловлено тем, что частицы, оседающие под действием силы тяжести, испытывают действие встречной диффузии. Благодаря способности частиц удерживаться во взвешенном состоянии в результате броуновского движения, в системе устанавливается равновесие, при котором частицы распределяются по высоте столба дисперсной жидкости неоднородно. Данное явление получило название седиментационно-диффузного равновесия или устойчивости.

Еще одним способом придания функциональных свойств композиционным материалам является использование потенциала природных материалов, заложенного генезисом [89-93].

Так для получения бетонов и цементных растворов с повышенной электропроводностью применяют порошки графита, стали, оксидов железа различной дисперсности. Конструктивные элементы зданий и подземных сооружений, изготовленные из таких материалов, могут выполнять дополнительные функции, например: экран от электромагнитных волн, нагревательного элемента, заземления, молнезащиты и т.п. [94].

Растворные или бетонные смеси с заданной электропроводностью необходимы, например, в фундаментостроении при устройстве буронабивных свай с уширениями, изготавливаемыми по разрядно-импульсной технологии, или для организации электропрогрева набирающих прочность монолитных подземных конструкций в вечномерзлом грунте [20].

С целью улучшения физико-механических свойств раствора в состав смеси вводят различного рода модификаторы. Известно применение в качестве таких добавок тонкодисперсных порошков и наночастиц различных материалов, например: диоксида титана TiO_2 , оксида алюминия Al_2O_3 , оксидов железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , наноглин, карбоновых нанотрубок и т.д. [95, 96].

Комплексное применение двух способов придания функциональных свойств композиционным материалам представлено на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – Способы придания функциональных свойств строительным материалам

Для строительных смесей на основе минерального вяжущего примером такого комплексного решения может стать использование в качестве составляющей тонкодисперсной добавки, полученной из исходного сырья, обладающего уникальными природными свойствами, и сохранившей свойства исходного материала после диспергирования. Такой добавкой может стать магнитореологическая суспензия.

Установлено, что несмотря на значительный интерес исследователей к изучению свойств и возможностей применения систем, обладающих электромагнитными свойствами (в частности, магнитных жидкостей), их использование в качестве активных функциональных добавок в строительные растворы не получило комплексного (системного) рассмотрения.

1.5 Предпосылки использования магнито-реологических суспензий как индикаторных жидкостей

Одним из основных сдерживающих факторов широкого применения магнитных жидкостей (МЖ) и магнито-реологических систем (МРС) являются особенности их синтеза, основанного на получении дисперсий в виде суспензий с размером частиц от 5 нм до 1 мкм с сохранением их агрегативной устойчивости.

Важную роль при создании дисперсных систем играет выбор исходного материала. Он должен обладать рядом уникальных свойств, позволяющих активно использовать полученную на его основе тонкодисперсную систему. Например, магнитные наночастицы обладают повышенной намагниченностью и анизотропией свойств, которыми можно управлять при помощи наложения внешнего магнитного поля. Свойства таких частиц зависят от физических характеристик исходного сырья: химического состава, типа кристаллической решетки, микроструктуры.

В настоящее время получают магнитные жидкости на углеводородной, силиконовой (кремнийорганической), фторорганической и водной основе. Среди сырьевых материалов дисперсной фазы известны магнетит (Fe_3O_4), маггемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), ферросилиций, а также ферриты NiFe_2O_4 , CoFe_2O_4 и др.[97, 98]

Учеными проводились многочисленные исследования по введению в состав строительных материалов магнитных частиц [99, 100]. Так, включение в бетонную смесь добавок магнетита, позволяет применять бетон в

конструкциях реакторов, обеспечивая при этом отвод тепла и защиту от излучения [101]. Известно, что добавка порошка магнетита приводит к повышению прочности цементных композитов [102-106], а также позволяет контролировать электропроводность [107-109].

Уникальные свойства магнитных частиц легли в основу создания магнитных жидкостей и магнитореологических систем – устойчивых дисперсных систем, способных проявлять магнитные свойства при попадании в магнитное поле [110-114].

Магнитные жидкости были открыты еще в 60-х годах XX века. В первых исследованиях для получения дисперсной фазы применялись методы механического диспергирования, как наиболее простые и доступные [115]. Характеристики первых магнитных жидкостей приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики ферромагнитных жидкостей [115]

Параметр	Жидкость-носитель				
	Керосин		Фторуглероды		Вода
Средний диаметр частиц, 10^{-10} м	70	86	50	76	98
Плотность, г/см ³	1,31	0,90	1,82	1,89	1,15
Объемная концентрация частиц	11,20	2,44	2,74	4,89	3,74
Намагниченность насыщения жидкости кА/м	31,20	8,10	7,00	18,3	12,8

Жидкость-носитель, или дисперсионная среда, определяется в зависимости от назначения и требуемых свойств. Различают магнитные жидкости на углеводородной, силиконовой (кремнийорганической), фторорганической и водной основе.

Магнитные жидкости на основе углеводородов нашли широкое применение в промышленности для решения технических задач. Классическим объектом исследования является магнитная жидкость на

основе керосина. В такой системе дисперсную фазу получают, как правило, методами петизации, в результате чего образуется паста, легко отделяющаяся от воды и обладающая намагниченностью насыщения около 200 кА/м. В дальнейшем пасту разбавляют выбранной жидкой средой [116].

Магнитные жидкости на основе кремнийорганических соединений синтезируются в той же последовательности, что и на углеводородах: изготовление концентрата, петизация, разведение в определённом объёме дисперсионной среды. Преимуществами полученной дисперсной системы является работоспособность в широком температурном интервале, при контактах с агрессивными средами, обусловленная низким давлением насыщенных паров [117, 118].

Магнитные жидкости, основанные на фторорганических соединениях, обладают высокой химической инертностью. Стабилизация дисперсной фазы достигается путем покрытия каждой частицы равномерным мономолекулярным слоем. Преимущества данной системы в том, что фторорганические соединения практически полностью химически инертны, что позволяет использовать их для уплотнения химически агрессивных сред. Однако при синтезировании важно выбрать оптимальный стабилизатор, так как увеличение толщины оболочки ухудшает магнитные свойства [119-121].

Получения магнитных жидкостей на водной основе имеет ряд особенностей: использование водорастворимых ПАВ; возможность гидратации магнитных частиц – необходима защита от окисления, необходимо оптимально выдерживание соотношения дисперсной фазы и стабилизатора, для сохранения магнитных свойств и устойчивости системы [122].

В дальнейшем разработкой новых способов получения дисперсной фазы занимались ученые разных стран. В ряде работ рассматривались методы стабилизации частиц и сохранения магнитных свойств [123, 124]. Большое распространение получили методы конденсации, позволяющие в

результате агрегации молекул получить частицы размером до 10 нм [123-127].

Известен механизм получения агрегативной устойчивых наночастиц магнетита (рисунок 1.10), заключающийся в получении наноразмерной фазы методом совместного осаждения с последующим покрытием частиц слоем SiO_2 путем гидролиза TEOS [128].

Исследования по синтезированию магнитных жидкостей проводились в САФУ под руководством профессора, доктора химических наук, Хабарова Ю.Г. В основу работ положено изучение технических лигносульфонатов, используемых в качестве пептизаторов при синтезе наноразмерных коллоидов магнетита на водной основе [129-131].

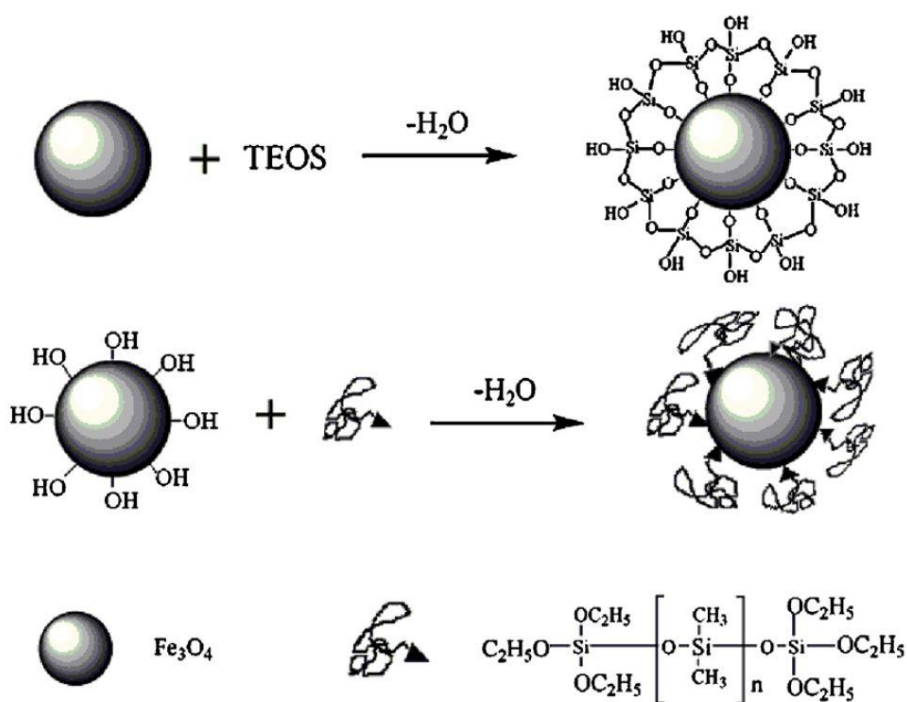


Рисунок 1.10 – Схематическое описание модификации НПС Fe_3O_4 [128]

Однако процесс получения нанодисперсной фазы является очень энергозатратным, в связи с чем магнитные жидкости не получили широкого промышленного применения. Более перспективными, с точки зрения внедрения в производство, являются магнитореологические жидкости. Их особенностью является резкое увеличение вязкости под воздействием

магнитного поля, а в сильных полях они могут полностью затвердевать. Такое свойство позволяет отнести их к так называемым «умным» материалам с нелинейным откликом на внешнее воздействие [132-134].

При создании магнитореологической жидкости важным параметром является обеспечение агрегативной устойчивости. При характеристике устойчивости лиофобных коллоидных систем определяющую роль играет состояние граничных слоев частиц дисперсной фазы.

Согласно теории ДЛФО (теория Дерягина, Ландау, Фервея, Овербека) в устойчивой системе при сближении частиц и перекрытии поверхностных слоёв возникают силы отталкивания электростатической природы, препятствующее дальнейшему сближению частиц. При достаточной величине энергетического барьера отталкивания дисперсная система является агрегативно устойчивой [135, 136].

1.6 Исследование свойств магнитореологических суспензий и их применение

Изучение свойств ферромагнитных коллоидов показало, что намагниченность насыщения возрастает с увеличением размера частиц, а слишком сильное измельчение может привести к потере магнитных свойств [119, 137]. Известны результаты лабораторных экспериментов по оценке влияния концентрации дисперсной фазы (ϵ) на намагниченность (M), которые позволили установить факт нарастания намагниченности суспензии при повышении концентрации магнитных частиц [138]. Кривые намагничивания представлены на рисунке 1.11.

Результаты лабораторных экспериментов по оценке влияния концентрации дисперсной фазы на намагниченность показали, что повышение концентрации магнитных частиц приводит к увеличению намагниченности суспензии. В связи с этим актуальными становятся исследования свойств магнитореологических жидкостей, которые характеризуются большей размерностью дисперсной фазы.

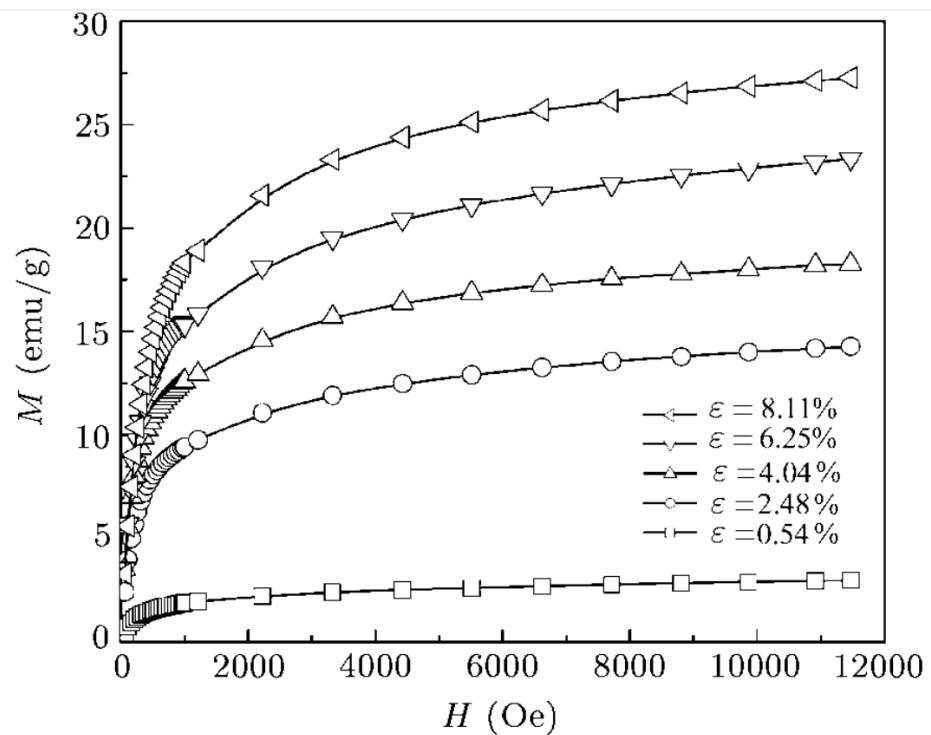


Рисунок 1.11 – Кривые намагничивания образцов магнитной жидкости на основе керосина при комнатной температуре [138]

Ученые достигли значительных успехов в изучении магнитовязкостного эффекта [128, 139, 140]. Анализ изменения вязкости в зависимости от направления и величины внешнего магнитного поля показал, что при повышении воздействия магнитного поля, вязкость суспензий ферромагнитных частиц увеличивается. Помимо этого, отмечено влияние крупных частиц в составе на изменение вязкости, а также получены данные о необходимой доле этих включений для оказания существенного влияния. Также было проведено исследование влияния температуры на вязкость.

На рисунке 1.12 представлен график, на котором видно, что при повышении температуры вязкость снижается. Данное явление обуславливается увеличением броуновского движения частиц, вследствие чего снижается скорость взаимодействия дисперсионной среды и наночастиц.

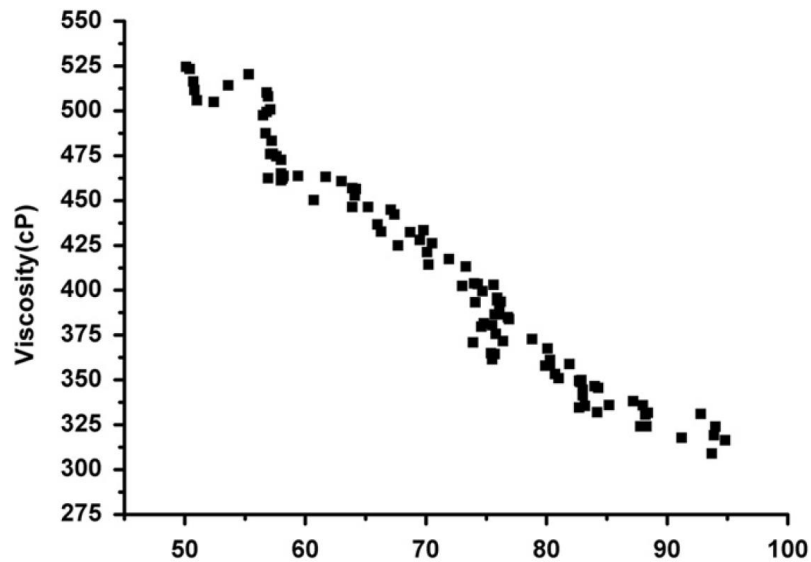


Рисунок 1.12 – Зависимость вязкости магнитной жидкости от температуры [140]

Ученые также рассмотрели влияние воздействия внешнего магнитного поля на вязкость ферромагнитных коллоидов [140, 141]. При наложении внешнего магнитного поля вязкость дисперсионной среды не изменяется, а наночастицы меняют свою ориентацию и распределяются вдоль силовых линий воздействующего магнитного поля, что приводит к увеличению гидравлического сопротивления и вязкости (рисунок 1.13).

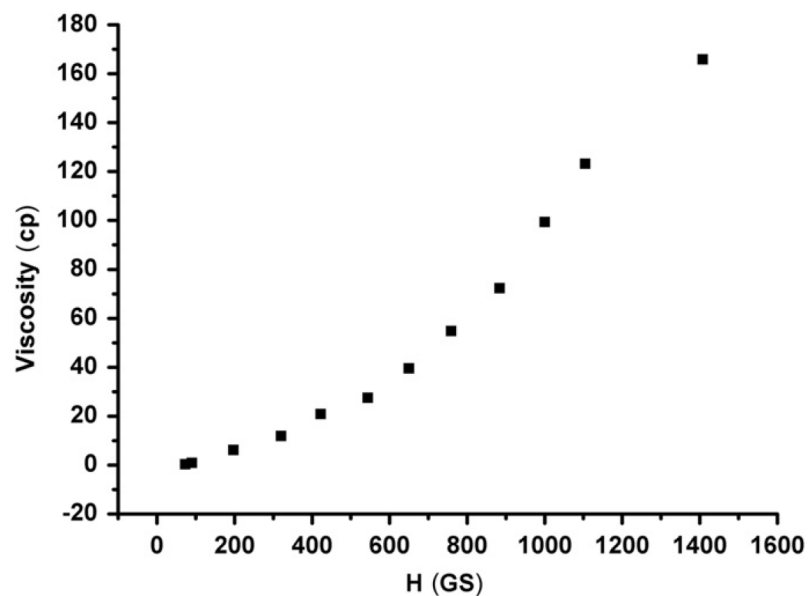


Рисунок 1.13– Зависимость вязкости от напряженности магнитного поля [140]

Уникальные свойства магнитных жидкостей и магнитореологических систем обеспечили им применение в различных областях науки и техники. В механизированных системах и оборудовании различных производств они применяются как уплотнители (герметизаторы) валов и штоков, в качестве магнитожидкостных смазок [128, 142-147]. Известно применение в медицине, в типографском деле, в компьютерной технике [148, 149].

Использование в некоторых отраслях промышленности послужило отправной точкой к созданию новых методов производства. Так, магнитные жидкости могут использоваться в магнитогидростатической сепарации, разделяя смеси различных частиц на составляющие в зависимости от плотности [150]. Наложение неоднородного магнитного поля приводит к утяжелению магнитной жидкости, в результате чего немагнитные тела с высокой плотностью всплывают. Кроме того, изменяя неоднородность поля, можно добиться одновременного всплывания более легких сепарируемых частиц и оседанию тяжелых.

Еще одним известным применением суспензий магнитных частиц является использование их в качестве теплоносителя в устройствах, где существуют сильные магнитные поля – для охлаждения таких устройств [128].

Намагниченность магнитореологических суспензий обусловлена тем, что каждая наночастица дисперсной фазы представляет собой постоянный магнит. Под действием теплового движения частицы перемещаются беспорядочно, а под действием магнитного поля происходит ориентация магнитных моментов частиц. Такое поведение может позволить применять МРС в прикладных задачах [151]. Известно, что ускоренное перемещение магнита внутри замкнутого электрического контура порождает в цепи электрический ток [152]. В связи с этим магнитореологические жидкости нашли применение в системах Energy harvesting [153], когда ускоренное перемещение суспензии внутри цилиндрического контейнера, имеющего обмотку, порождает в обмотке электрический заряд.

1.7 Выводы

1. Существующие методы контроля качества строительных изделий, выполняемых из бетона непосредственно на строительной площадке, позволяют оценить качество бетонирования только после набора прочности композитом, когда исправить дефекты нельзя. В связи с этим весьма перспективными будут являться решения, связанные с осуществлением контроля бетонирования непосредственно в процессе производства работ.

2. Установлено, что, несмотря на значительный интерес исследователей к изучению свойств и возможностей применения систем, обладающих электромагнитными свойствами (в частности, магнитных жидкостей), их использование в качестве активных функциональных добавок в строительные растворы не получило комплексного рассмотрения.

3. Определено, что одним из основных сдерживающих факторов широкого применения магнитных жидкостей (МЖ) и магнитореологических систем (МРС) являются особенности их синтеза, основанного на получении дисперсий в виде суспензий с размером частиц от 5 нм до 1 мкм с сохранением их агрегативной устойчивости. Поэтому наибольшей перспективностью, с точки зрения промышленного производства, обладают магнитореологические суспензии с дисперсной фазой, полученной путем механического диспергирования.

4. Изучение свойств ферромагнитных коллоидов показало, что намагниченность насыщения возрастает с увеличением размера частиц, а слишком сильное измельчение может привести к потере магнитных свойств, помимо этого установлено, что повышение концентрации магнитных частиц приводит к увеличению намагниченности суспензии. В связи с этим актуальными становятся исследования свойств магнитореологических жидкостей, которые характеризуются большей размерностью дисперсной фазы микронного размерного порядка.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика исходных материалов

В диссертационной работе объектом исследований является магнитореологическая суспензия магнетита (МСМ), представляющая собой дисперсную систему, состоящую из ферромагнитных частиц, находящихся во взвешенном состоянии в несущей жидкости. Для установления рецептурных параметров рассматриваемой тонкодисперсной системы, были проведены исследования, связанные с установлением условий ее агрегативной и седиментационной устойчивости.

С целью выявления характера взаимодействия полученной суспензии с вяжущими проводились исследования на модельных системах «портландцемент-вода-магнетит» и «портландцемент-вода-МСМ». Для установления влияния различных концентраций добавки на физико-механические и электропроводящие свойства цементно-песчаного раствора были подготовлены серии образцов контрольного состава, а также с добавкой МСМ.

2.1.1 Магнетит

Магнетит ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) – это минерал, относящийся к классу оксиды, встречающийся в природе в месторождениях различных генетических типов в виде больших скоплений и рудных залежей. Магнетит является ферромагнетиком, что обуславливает его способность проявлять магнитные свойства в отсутствие внешнего магнитного поля. Эта отличительная особенность выделяет магнетит из ряда схожих минералов: гематита, гаусманита, яacobсита и т.д. Также магнетит отличается от гематита изотропностью, низкой отражательной способностью и изометричностью зёрен.

Химический состав магнетита с разных месторождений представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав магнетита [154, 155]

№	Месторождение	Содержание оксида, %						
		Fe _{общ}	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO
1	Коршуновское железорудное	34,40	7,50 - 24,50	5,40 - 40,40	4,60 - 11,40	2,10- 5,20	0,17- 0,46	0,04- 0,14
2	Гостищевское	54,51	5,42	-	-	6,20	-	-
3	Б. Глееватка	50,56	41,90	2,49	1,77	0,10	0,01	0,09
4	Шахта имени Орджоникидзе	71,57	21,60	-	-	0,73	-	0,12
5	Костомукшское	45,40	47,09	1,75	1,70	1,16	0,04	0,09
6	Корпанги	36,45	50,68	2,22	1,62	3,22	0,11	0,12
7	Кириябинское	41,10	32,80	21,90	0,61	0,63	-	-

Для проведения исследований применялся порошок магнетита, добываемый на Кириябинском месторождении в 45 км от г. Урчалы Республики Башкортостан (рисунок 2.1). Проявления магнетит-гематитовых руд замечены на всем протяжении Учалинской аномалии в направлении с севера на юг на ряде месторождений, они приурочены преимущественно к хлорит-актинолитовым, эпидот-роговообманковым, слюдисто-полевошпат-хлоритовым, реже слюдяно-кварцевым сланцем.

Основная деятельность добывающей компании ООО «Баштадьк» направлена на разработку тальковой руды и производство различных марок молотого талька и микроталька. Магнетит является порообразующим минералом попутнодобываемого сырья при разработке месторождения. Привлекательность данного сырья вызвана тем, что в процессе добычи он уже проходит процесс первоначального измельчения на дробильных машинах. Добываемый магнетит соответствует паспорту на пробу железной руды и имеет санитарно-эпидемиологическое заключение (Приложение А).



Рисунок 2.1 – Кирябинское месторождение

Сравнительный анализ состава показал, что принятый для экспериментов магнетит обладает химическим составом схожим с минералами, добываемыми на других месторождениях, а значит при необходимости может быть заменен на аналогичный материал в случае недоступности сырья с данного месторождения.

2.1.2 Портландцемент

При устройстве несущих конструкций применяют, как правило, строительные смеси на гидравлическом минеральном вяжущем – портландцементе. Полученные на его основе растворы и бетоны обладают повышенными прочностными показателями. Для проведения исследований использовался цемент марки ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Липецкцемент» г. Липецк, соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2016 [156]. Состав и свойства используемого портландцемента приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Состав и свойства портландцемента производства
АО «Липецкцемент»

Показатель	Норматив по ГОСТ	Фактическое значение
Минералогический состав клинкера, масс. %		
Трехкальциевый силикат ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 +$ $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ $> 67,0$	62,8
Двухкальциевый силикат ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)		14,7
Трехкальциевый алюминат ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$)	-	6,6
Четырехкальциевый алюмоферрит ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$)	-	12,0
Иное		3,9
Химический состав клинкера, масс. %		
CaO	$\text{CaO}/\text{SiO}_2 > 2$	66,1
SiO ₂		21,2
Al ₂ O ₃	-	4,9
Fe ₂ O ₃	-	4,1
MgO	≤ 5	1,7
SO ₂	$\leq 3,5$	0,3
П.п.п.	≤ 5	1,7
Физико-химические свойства		
Предел прочности при сжатии, МПа	42,5-62,5	60,8
Начало схватывания, мин	> 60	135
Конец схватывания, мин	-	195
Удельная поверхность, м ² /кг	-	429,4
Нормальная густота цементного теста, %	-	36,7
Тонкость помола, остаток на сите №008, %	-	3,4

2.1.3 Песок

При приготовлении цементно-песчаных растворов в качестве мелкого заполнителя применялся речной полиминеральный песок месторождения «Краснофлотский запад», химический состав которого (в пересчете на оксиды) представлен в таблице 2.3. Установленные по результатам испытаний свойства песка (таблица 2.4) соответствуют требованиям, установленным ГОСТ 8736-2014 [157].

Таблица 2.3 – Химический состав песка месторождения
«Краснофлотский запад»

Оксид	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO
Содержание, масс. %	91,35	5,06	1,37	0,74	0,65	0,36	0,26

Таблица 2.4 – Физико-механические свойства состав песка месторождения
«Краснофлотский запад»

Показатель	Норматив по ГОСТ	Фактическое значение
Класс песка	II	II
Модуль крупности M_k	1,5...2,0	1,7
Полный остаток песка на сите N 063	10...30	21,1
Содержание пылевидных и глинистых частиц	5	4,78
Содержание глины в комках	0,5	3,51
Наличие засоряющих примесей	не допускается	нет

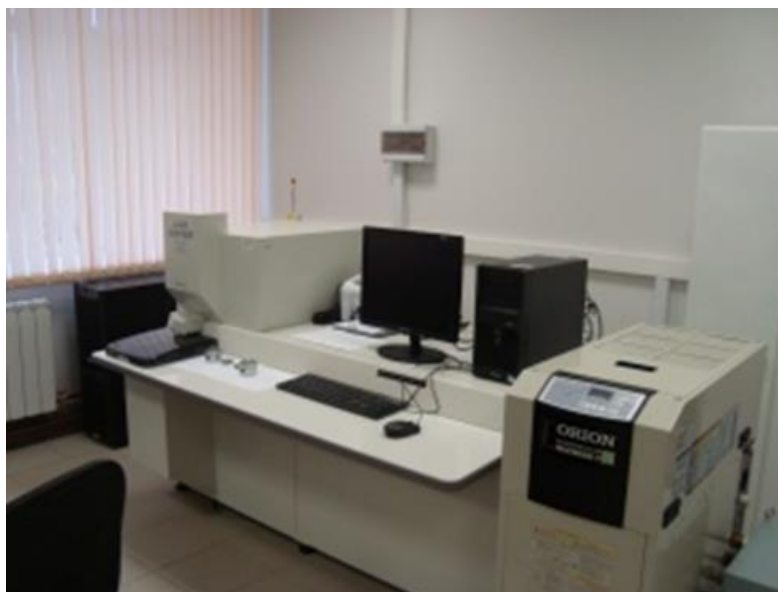
Песок месторождения «Краснофлотский-Запад» на 74% состоит из кварца, и на 17% из альбита. Песок этого месторождения относится к аллювиально-морским современным четвертичным отложениям [158].

2.2 Методы исследований и научно-исследовательское оборудование

При выполнении работ по созданию и исследованию свойств агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита использовалось современное взаимодополняющее оборудование Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова:

- кафедры композиционных материалов и строительной экологии;
- кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов;
- научной установки «Физикохимия поверхности нанодисперсных систем»;
- центра коллективного пользования «Арктика» САФУ.

С помощью приборной базы (рисунки 2.2-2.13) были решены следующие задачи: получена тонкодисперсная фаза, осуществлен контроль за степенью дисперсности, определены условия агрегативной устойчивости, проведено исследование электрических характеристик исследуемого материала. Выбор данного инструментария основывался на исследованиях, представленных в работах [159-161].



**Рисунок 2.2 –
Спектрометр Lab
Center XRF-1800**



а



б

Рисунок 2.3 –
Планетарная
шаровая мельница
Retsch PM-100

а) общий вид;

б) размольная
гарнитура



Рисунок 2.4 –
Коллоидная
мельница
IKA magic LAB



Рисунок 2.5 –
Лабораторная
шаровая мельница
Retsch Emax



Рисунок 2.6 –
Мельница
вибрационная
MB-20

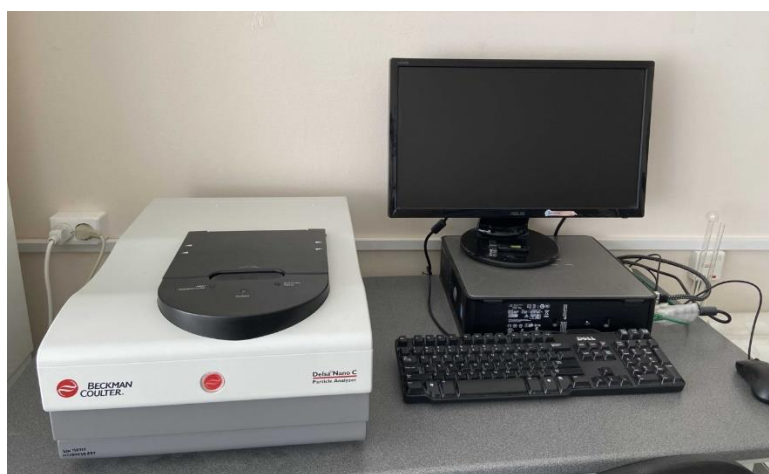


Рисунок 2.7 –
Анализатор размера
и заряда частиц
DelsaNano



Рисунок 2.8 –
Прибор ПСХ-10а

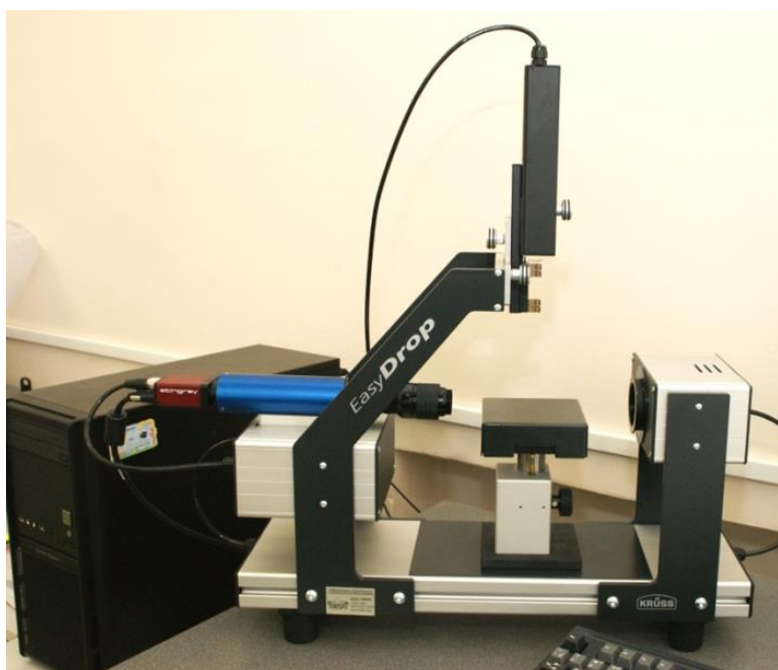


Рисунок 2.9 –
Измеритель
KRUSS Easy Drop

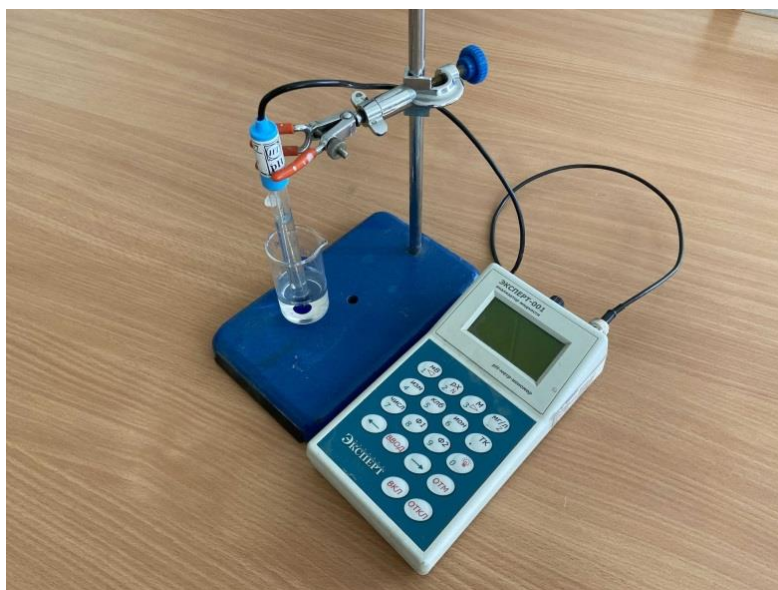


Рисунок 2.10 –
рН-метр-ионометр



Рисунок 2.11 –
Спектрофотометр
СФ-2000



Рисунок 2.12 –
Кондуктометр
«Эксперт-002»



Рисунок 2.13 –
Дифференциальный
сканирующий
калориметр
ДСК-500

2.2.1 Исследование химического состава исходных материалов

Химический состав исходного сырьевого материала определялся при помощи волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра Lab Center XRF-1800 (рисунок 2.2).

Спектрометр предназначен для определения элементов от С до U в диапазоне содержаний от 1 мг/кг до 100% и обеспечивает быстрый элементный анализ сплошных твердых образцов, порошков и жидкостей. Применяется для анализа состава растительного сырья, стекол, керамик, сталей и сплавов, ювелирных изделий; определения тяжелых металлов в почвах, наполнителей в бумагах, серы в нефтепродуктах.

2.2.2 Получение тонкодисперсных образцов

Для получения тонкодисперсных образцов методом механического диспергирования использовалась планетарная шаровая мельница Retsch PM-100, оснащенная одной размольной станцией (рисунок 2.3). Процесс диспергирования основан на действии высоких центробежных сил, приводящих к образованию большого запаса энергии и способствующих к значительному сокращению времени измельчения.

Диспергирование образцов происходит в размольном стакане, где мелющие шары подвергаются действию сил Кориолиса. Скорость вращения стакана может быть установлена в диапазоне от 100 до 650 об/мин. Благодаря взаимному действию сил удара и терния, обусловленных различной скоростью размольных шаров и стакана, обеспечивается высокая степень измельчения. В качестве исходного может быть использован мягкий, твердый, хрупкий или волокнистый материал в сухом или влажном состоянии. Диспергирование образцов может производиться сухим методом или с использованием ПАВ.

При диспергировании образцов магнетита соблюдался основной алгоритм действий:

1. Подготовка образцов: предварительное измельчение до размеров 4 ± 1 мм, высушивание до постоянной массы;
2. Помещение пробы в помольный стакан, в таком объеме, чтобы стакан был заполнен пробой и шарами не более чем на $2/3$;
3. Взвешивание помольной гарнитуры (вместе с крышкой);
4. Закрепление стакана в посадочном месте и установка противовеса;
5. Настройка рабочих параметров мельницы: времени диспергирования и скорости вращения ротора.

С целью повышения эффективности механического диспергирования путем механоактивации использовалась коллоидная мельница ИКА magis LAB (рисунок 2.4). Коллоидная мельница предназначена для перемешивания жидкостей и твердых веществ, гомогенизации, эмульгирования, диспергирования или мокрого помола. Тонкость помола при диспергировании образцов регулировалась при помощи корректировки количества проходов суспензии через рабочую камеру, а также зазора между барабаном ротора и поверхностью статора. Диспергирование производилось в рабочей жидкости, при загрузке предварительно полученной суспензии в приемник проб.

Для оценки возможности использования различных размольных агрегатов было произведено диспергирование магнетита на шаровой лабораторной и вибрационной мельницах.

Шаровая лабораторная мельница Retsch Emax (рисунок 2.5) позволяет получать тонкодисперсные образцы с размером частиц менее 80 нм. Измельчение происходит благодаря совместной работе сил удара и трения. Во время работы мельницы размольная гарнитура охлаждается благодаря жидкостной системе охлаждения, что позволяет значительно снизить временные и энергетические затраты на помол.

Вибрационная мельница MB-20 (рисунок 2.6) предназначена для проведения процесса механического диспергирования материалов до

состояния микро- и наноразмерности. Достижение такой степени помола возможно благодаря высокой интенсивности измельчения и вибрационному воздействию.

2.2.3 Анализ размера и поверхностного заряда частиц дисперсной фазы

Использование анализатора DelsaNano (рисунок 2.7) позволяет определить размеры частиц методом фотонно-корреляционной спектроскопии и дзета-потенциал (ζ -потенциал) частиц методом электрофоретического светорассеяния.

Установление размера частиц производится путем помещения пробы в стеклянную кювету, заполненную рабочей жидкостью (как правило, дистиллированной водой). Кювета закрепляется в приборе и подвергается воздействию луча лазера. Частицы образца перемещаются в жидкой среде, рассеивая свет. Это рассеивание замеряется прибором и обрабатывается. Таким образом, получается распределение размеров частиц по фракциям.

ζ -потенциал частиц дисперсной фазы суспензии оценивается по скорости перемещения частиц к противоположному по знаку электроду измерительной ячейки, помещенной в электрическое поле.

2.2.4 Оценка площади удельной поверхности

В приборе дисперсионного анализа ПСХ-10а (рисунок 2.8) используется метод газопроницаемости Козени и Кармана. Газопроницаемость слоя порошка устанавливается в зависимости от времени фильтрации через его толщину воздуха при фиксированном начальном и конечном разрежении в рабочем объеме прибора. Измеритель позволяет определять удельную поверхность частиц в диапазоне $S_{уд} = 20 \dots 6 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$, среднemasсовый размер частиц – $d = 0,1 \dots 250 \text{ мкм}$.

Определение удельной поверхности и среднего размера частиц тонкодисперсного образца производится при известных значениях

плотности, массы и высоты слоя порошка в измерительной кювете после уплотнения. В процессе измерений термодатчиком фиксируется температура воздуха, которая оказывает влияние на расчет вязкости воздуха в измерениях.

2.2.5 Исследование гидрофильности поверхности

Исследование гидрофильности поверхности образцов, определяемой по краевому углу смачивания, выполнялось на приборе KRUSS Easy Drop (рисунок 2.9). Установка позволяет контролировать процесс измерения краевого угла смачивания по методу «лежащей капли», рассчитывать свободную поверхностную энергию, а также поверхностное и межфазное натяжение жидкостей по методу висящей капли.

При определении краевого угла смачивания по методу «лежащей капли» исследуются геометрические размеры капли в зависимости от её формы. После попадания капли на исследуемую поверхность ее освещают сбоку и фотографируют форму. На снимке фиксируется диаметр и высота капли, а также проводится касательная в точке раздела трех фаз «газ-жидкость-твердое тело».

2.2.6 Контроль протолитических характеристик

Измерение величины pH дисперсионной среды производилось при помощи pH-метр-ионометра (рисунок 2.10), предназначенного для измерения кислотности среды, активности и концентрации ионов, окислительно-восстановительного потенциала, температуры. Метод определения величины pH пробы основан на измерении ЭДС электронной системы, состоящей из стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью водородных ионов, и вспомогательного электрода сравнения с известным потенциалом. Используя данную установку, можно получать сведения о кислотности среды в пределах pH 0-14 и диапазоне температур от 0 до 100°C.

2.2.7 Определение коэффициента светопропускания суспензии

Для изучения влияния величины рН дисперсионной среды на коэффициент светопропускания водной суспензии магнетита, в измерительные ячейки спектрофотометра СФ-2000 (рисунок 2.11) помещались две стеклянные кюветы размерами поперечного сечения 1 x 1 см и высотой 5 см. Одна из кювет заполнялась нейтральной жидкостью (дистиллированная вода), другая – исследуемой суспензией с показателем кислотности дисперсионной среды рН 8. После стабилизации значений коэффициента светопропускания (Т) производилась смена среды на сильнощелочную, путем введения в образец щелочи (КОН 1М).

Концентрация гидроксида калия подбиралась таким образом, чтобы добавляемый объем (порядка 0,2 мл) практически не изменял общего объема анализируемой пробы.

2.2.8 Исследование электропроводящих свойств суспензии

Определение значений удельной электрической проводимости суспензии в зависимости от содержания в ней дисперсной фазы, выступающей в роли токопроводящего компонента, выполнялось при помощи кондуктометра «Эксперт-002» (рисунок 2.12).

Принцип работы кондуктометра при измерении удельной электрической проводимости суспензии основан на контактном методе измерения в двухэлектродной кондуктометрической ячейке. Концентрация дисперсной фазы в исходной суспензии составляла 10%, что соответствует 5%-му содержанию МСМ по массе вяжущего при условии использования данной суспензии для затворения растворной смеси.

Измерение удельной электрической проводимости суспензии выполнялось при помощи кондуктометра и рассчитывалось как среднее значение двух параллельных измерений.

2.2.9 Исследование физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик

Исследование влияния добавки магнитоареологической суспензии магнетита на свойства цементно-песчаного раствора проводилось на образцах с соотношением компонентов, принятым по предварительному подбору состава тяжелого бетона (таблица 2.5), с последующим исключением крупного заполнителя.

Таблица 2.5 – Контрольные составы смесей

№	Компонент	Содержание в бетонной смеси, %	Содержание в контрольной смеси, %
1	Щебень	43,3	-
2	Песок	27,5	57,1
3	Цемент	19,1	28,6
4	Вода	10,1	14,3

Увеличение доли песка вызвано необходимостью обеспечения равной подвижности смесей. Исключение крупного заполнителя обусловлено токопроводящими свойствами многокомпонентных систем: электрическая проводимость смеси устанавливается кондуктометрическим методом, в ходе измерений регистрируется максимальное значение контролируемого параметра по сечению образца, таким образом, крупный заполнитель не влияет на значение измеряемого параметра, так как наибольшее значение проводимости имеет жидкотекучая среда, представленная смесью трех компонентов.

Физико-механические свойства цементно-песчаных растворов с добавкой МСМ устанавливались в соответствии с методиками ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний» [162]. Исходная массовая концентрация твердой фазы МСМ составляла 50%, суспензия вводилась в

состав вместе с водой затворения в количестве, обеспечивающем содержание твердой фазы 1; 3; 5; 10 и 20 % от массы вяжущего. После совмещения компонентов смесь подвергалась тщательному перемешиванию в течение 15 минут, для достижения однородности распределения компонентов с целью достижения сходимостью результатов параллельных измерений.

Изучение **влияния магнетита на гидратацию портландцемента** в ранний период выполнялось методом изотермической калориметрии на дифференциальном сканирующем калориметре ДСК-500 (рисунок 2.13). Реакционная калориметрическая ячейка заполнялась дистиллированной водой объемом 400 мл. После стабилизации температуры калориметрической системы в ячейку помещалась навеска испытуемого порошка, представленного смесью цемента (30 г) и тонкодиспергированного магнетита (1,5 г). Количество добавки подбиралось из условия обеспечения массовой концентрации магнетита: 5% от массы вяжущего. После непродолжительного перемешивания смеси (5-7 с) компьютерной программой проводилась фиксация температурного режима реакционной системы (используемая модель дифференциального калориметра ДСК-500 позволяет определять температурный режим с точностью до $\pm 0,01$ °C).

Сорбционная способность магнетита, как компонента минерального вяжущего гидратационного типа твердения, проводилась по методу Запорожца, в ходе реализации которого определялось снижение концентрации СаО в насыщенном известковом растворе в результате поглощения частицами исследуемого материала [163].

В предварительно подготовленный насыщенный раствор извести (с концентрацией $C_{CaO} = 1,3$ г/л) объемом 750 мл вводилось 10 г тонкодисперсного магнетита. Измерение концентрации раствора выполнялось через 1, 3, 6, 24 и 30 часов, производимое путем титрования 50 мл отобранной пробы 0,05 моль/л раствором HCl с применением фенолфталеина в качестве индикатора.

Для каждого временного интервала концентрация определялась по формуле:

$$C = 758AT/V, \quad \text{г/л} \quad (2.1)$$

где A – количество HCl , израсходованной на титрование, мл;

T – титр 0,05 М HCl ($T = 0,001825$ г/мл);

V – количество отобранного из цилиндрической емкости раствора, мл.

Активность магнетита находилось по разности между первоначальной концентрацией раствора и концентрацией на момент титрования:

$$A_k = \frac{C_{CaO} - C}{M}, \text{ мг/г} \quad (2.2)$$

где C_{CaO} – начальная концентрация известкового раствора, г/л;

C – минимальная концентрация, г/л;

M – масса навески материала, г.

Исследование свойств цементного вяжущего с добавкой на основе агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита проводилось в соответствии с ГОСТ 30744–2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка» [164].

Расчет **прогнозируемой прочности цементного вяжущего** с использованием добавки магнитореологической суспензии магнетита производился по методике, разработанной д.т.н., профессором Ш.М. Рахимбаевым [165].

С целью определения временных параметров изменения значений **удельной электрической проводимости смеси** в процессе твердения, были проведены измерения удельной электрической проводимости образцов цементно-песчаного раствора с различным содержанием добавки МСМ от момента затворения до окончания набора прочности. Измерительная ячейка (рисунок 2.14), подключенная к регистрирующим приборам:

миллиамперметру (1), источнику постоянного тока (2) и милливольтметру (3) – заполнялась смесью (4); с двух торцов образца располагались пластинчатые поляризующие электроды (5), а в центре – стержневые измерительные электроды. Во время проведения исследований ячейка с раствором помещалась в контейнер, где поддерживалась постоянная температура $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха 95–100%.

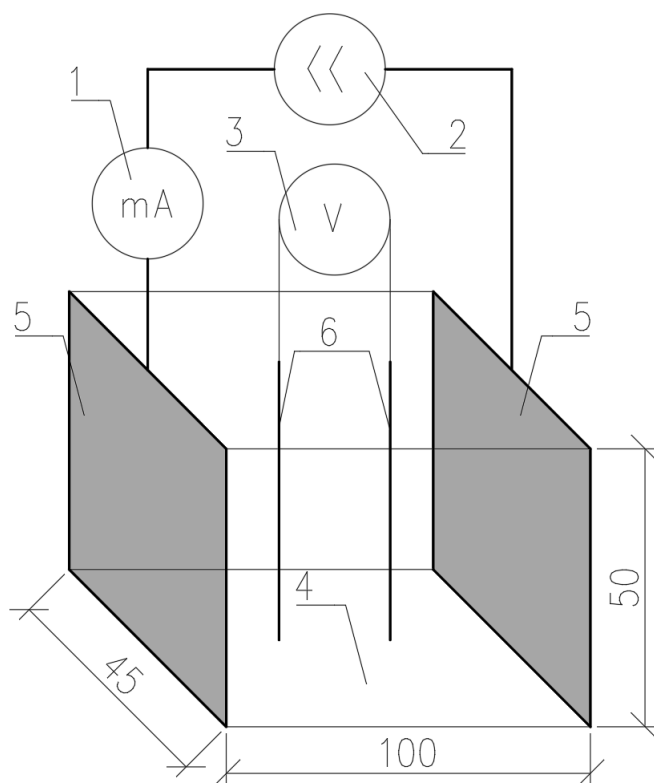


Рисунок 2.14 – Схема измерительной ячейки

Для оценки возможности использования значений удельной электрической проводимости смеси **при контроле сплошности бетонирования**, в измерительную ячейку (рисунок 2.14) помещались образцы цементно-песчаного раствора, при этом часть объема заменялась песком, моделируя вывалы грунта.

2.3 Выводы

1. Исследование свойств исходных материалов проводилось с использованием стандартных научных подходов с применением

сертифицированного и поверенного оборудования приборной базы научной установки «Физикохимия поверхности нанодисперсных систем» и ЦКП «Арктика» САФУ.

2. Структурные особенности разработанных материалов исследованы при помощи высокотехнологичного оборудования нового поколения, а также компьютерных средств обработки полученных результатов. Это позволило определить целесообразность и эффективность использования магнитореологической суспензии магнетита в составе вяжущих для реализации новых методов контроля качества.

3 СОЗДАНИЕ УСТОЙЧИВОЙ МАГНИТОРЕЛОГИЧЕСКОЙ СУСПЕНЗИИ МАГНЕТИТА

3.1 Подготовка исходного материала

В качестве сырья для проведения исследований был выбран порошок магнетита, добываемый вблизи г. Учалы Республики Башкортостан на Кирябинском тальковом месторождении. Плотность частиц исходного сырья была определена согласно методике ГОСТ 5180-2015 пикнометрическим методом по результатам двух параллельных испытаний и составила $\rho_{\text{исх}} = 3650 \text{ кг/м}^3$. Полученный результат оказался на 27% меньше общеизвестного значения плотности магнетита $\rho = 4900...5200 \text{ кг/м}^3$. Для установления элементного состава исходного сырья был проведен рентгенофлуоресцентный анализ на сканирующем спектрометре в центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» САФУ (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Элементный состав исходного материала в пересчете на оксиды

Оксид	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	NiO
Содержание, масс.%	41,10	32,80	21,90	2,64	0,63	0,61	0,20

Результаты анализа показали наличие большого содержания оксидов кремния и магния – 54,7 %, что не соответствует химическому составу магнетита. Однако SiO₂ и MgO составляют основу талька Mg₃[Si₄O₁₀](OH)₂, их содержание, как правило, около 90%. Полученные данные обусловили необходимость удаления выявленных сопутствующих соединений путем обогащения исходного сырья. Основываясь на разных плотностях талька и магнетита, было принято решение о применении для очистки многократной промывки исходного порошка с дальнейшей сушкой и отсеиванием частиц

талька путем магнитной сепарации. Фотографии образцов до и после обогащения приведены на рисунке 3.1.



а)

б)

Рисунок 3.1 – Образцы исходного порошка магнетита

а) до отсева талька; б) после обогащения

Истинная плотность очищенного порошка магнетита составила $\rho = 4980 \text{ кг/м}^3$. Химический состав образцов порошка магнетита, используемого для дальнейших исследований, представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Химический состав порошка магнетита

Компонент	Fe_2O_3	FeO	Mn	Cu	п.п.
Содержание, масс. %	77,00	22,88	0,07	0,03	0,02

В дальнейшем для проведения экспериментов использовались образцы обогащенного магнетита.

3.2 Получение тонкодисперсных систем на основе магнетита

Среди известных методов получения дисперсной фазы, для проведения исследований был выбран способ механического диспергирования исходного сырья, как наиболее доступный и позволяющий в короткие сроки получить требуемую степень измельчения. Обеспечение повторяемости результатов в процессе получения тонкодисперсной фазы требует тщательного подбора методов механического диспергирования и отработки наиболее эффективного режима. Для этого был проведен ряд лабораторных

экспериментов с вариацией времени и характеристик размола, а также с применением различного оборудования. В качестве размольных агрегатов были использованы: планетарная шаровая, коллоидная, шаровая и вибрационная мельницы.

Магнетит имеет весьма высокую твердость, сопоставимую с твердостью стали, поэтому при выполнении помола использовалась карбид вольфрамовая размольная гарнитура, с целью минимизации возможности попадания в образец стальной пудры в процессе дробления.

Первоначальным этапом диспергирования стала механическая активация очищенного порошка магнетита на планетарной шаровой мельнице. По результатам анализа состава образцов, измельченных методом сухого помола, получены фракционные распределения частиц для каждого размерного ряда (рисунок 3.3).

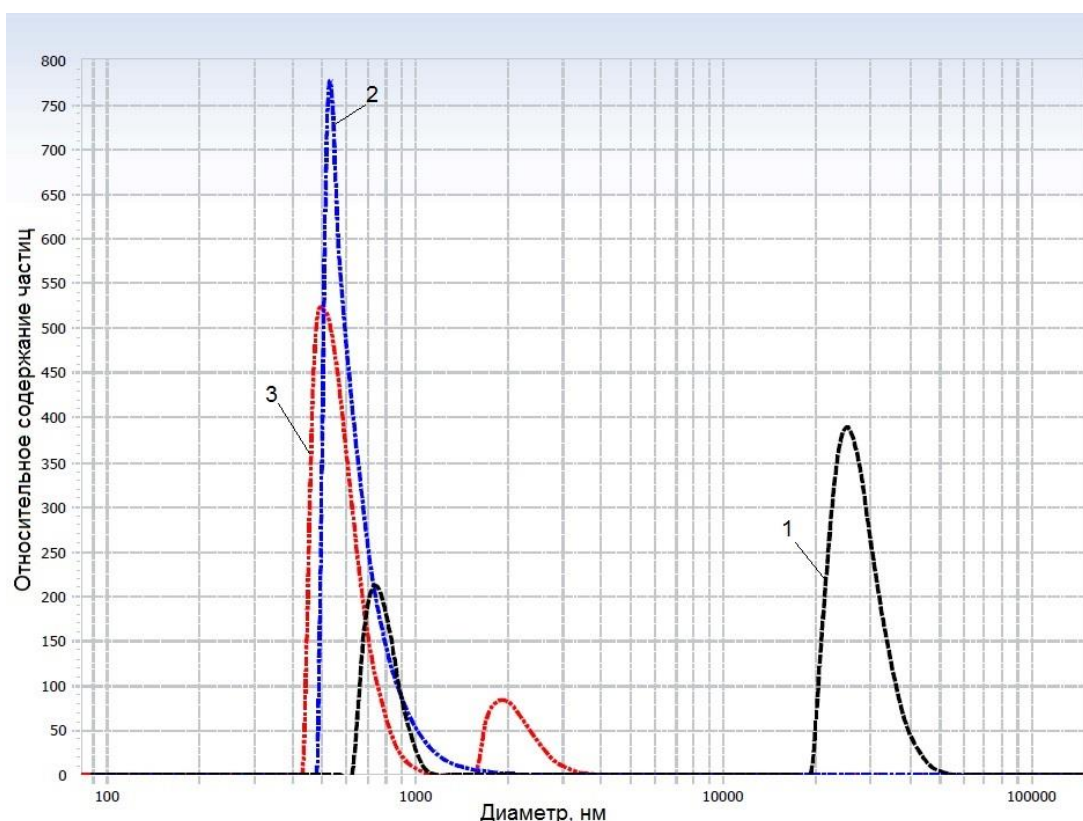


Рисунок 3.2 – Размерное распределение частиц в опытных образцах, при времени помола
1 – 30 мин, 2 – 60 мин, 3 – 90 мин

В первом случае (1) измельчение проводилось в течение 30 минут при использовании 20 помольных тел из карбидвольфрама диаметром 10 мм. По результатам фотонно-корреляционной спектроскопии 57,7% частиц имело размер менее 1 мкм, среднемассовый размер составил 7,08 мкм (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Размерное распределение частиц в образце после 30 мин помола

Размер по фракциям, нм	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
	571	625	684	748	819	981
Содержание, масс. %	13,6	17,8	14,2	8,1	3,3	0,7

При втором режиме сухого помола (2) механоактивация магнетита выполнялась 60 карбидвольфрамовыми шарами диаметром 5 мм в течение двух циклов по 30 минут с технологическим перерывом 15 мин (на охлаждение оборудования). В результате помола был получен порошок со среднемассовым диаметр частиц 3,77 мкм, при этом 85,1% частиц имело размер менее 1 мкм (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Размерное распределение частиц в образце после 60 мин помола

Размер по фракциям, нм	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
	468	510	556	606	660	719	854	931
Содержание, масс. %	17,2	19,4	17,1	12,8	8,5	5,1	3,0	2,1

В третьем случае (3) время измельчения было увеличено: два цикла по 45 мин с перерывом 15 мин с использованием той же размольной гарнитуры, что и в предыдущем режиме. По итогам фракционного анализа среднемассовый диаметр частиц составил 4,20 мкм, при этом 94,7% частиц имело размер менее 1 мкм (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Размерное распределение частиц в образце
после 90 мин помола

Размер по фракциям, нм	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
	523	568	618	671	729	792	861	934
Содержание, масс. %	27,0	20,7	15,4	11,3	8,1	5,7	3,9	2,7

Сравнительный анализ различных режимов помола показал, что наиболее эффективным по критериям размера и воспроизводимости является способ 2, позволяющий получать порошок с размером менее 1 мкм у 85 % частиц, при этом удельная площадь поверхности частиц составила $S_{уд} = 102 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Для получения более высокой дисперсности образца с использованием шаровой мельницы, был применён метод помола с ПАВ – олеиновой кислотой. В течение 45 минут выполнялось измельчение магнетита предварительно маханоактивированного методом сухого помола (по способу 2). Результаты фракционного анализа показали, что среднемассовый размер частиц составил 2,88 мкм (таблица 3.6). При этом 99,2% частиц имело размер менее 230,8 нм.

Таблица 3.6 – Размерное распределение частиц в опытном образце после помола с ПАВ (99,2%)

Размер по фракциям, нм	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
	81	88	96	105	115	125	149	231
Содержание, масс. %	20,8	21,2	18,3	14,0	9,9	6,5	6,3	2,2

С целью оценки возможности получения частиц размерности, соответствующей размерам частиц твердой фазы классических магнитных жидкостей, был проведен помол полученной ранее пробы в коллоидной мельнице. При этом в качестве дисперсионной среды был использован 96% этанол. Однако результаты анализа на приборе Delsa Nano показали, что размер частиц возрос в 50 раз (рисунок 3.3).

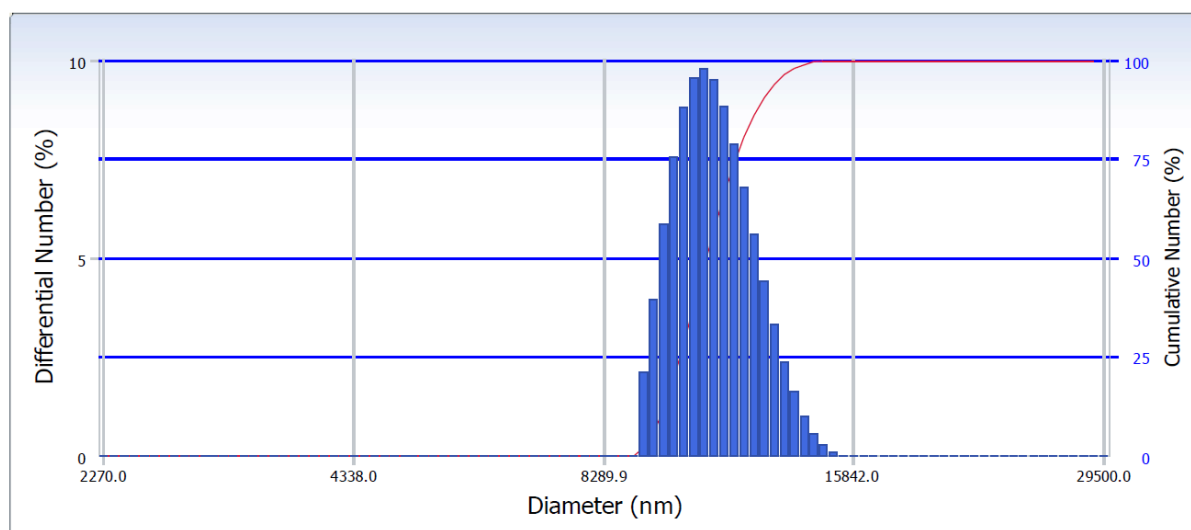


Рисунок 3.3 – Размерное распределение частиц после помола на коллоидной мельнице

Данное явление было обусловлено образованием в этиловом спирте крупных агрегатов частиц магнетита, окруженных слоем ПАВ. Показатель кислотности (рН) в полученной суспензии был равен 3,5. Другим фактом, объясняющим увеличение размерных характеристик частиц при помоле данной системы в коллоидной мельнице при смене водной дисперсионной среды на спиртовую может являться следующее положение. Жирные кислоты (и в частности, олеиновая кислота) растворимы почти во всех органических растворителях (диэтиловом эфире, петролейном эфире, ацетоне, хлороформе и др.). В холодном этаноле высокомолекулярные жирные кислоты растворяются плохо, но при нагревании (что и происходит при помоле в коллоидной мельнице) их растворимость значительно увеличивается. Таким образом, частицы не экранируются молекулами ПАВ, что приводит к их быстрой агрегации. В то же время диэлектрическая проницаемость воды практически в четыре раза выше, чем этилового спирта (выше проводимость электрического тока), поэтому для синтезированной коллоидно-дисперсной системы водная дисперсионная среда должна являться более предпочтительной.

С целью разделения агрегатов на частицы в полученную суспензию была введена щелочь – NaOH до достижения рН 9. В результате чего 95,5 %

частиц стало меньше 8 мкм, но дальнейшего разделения не произошло (рисунок 3.4).

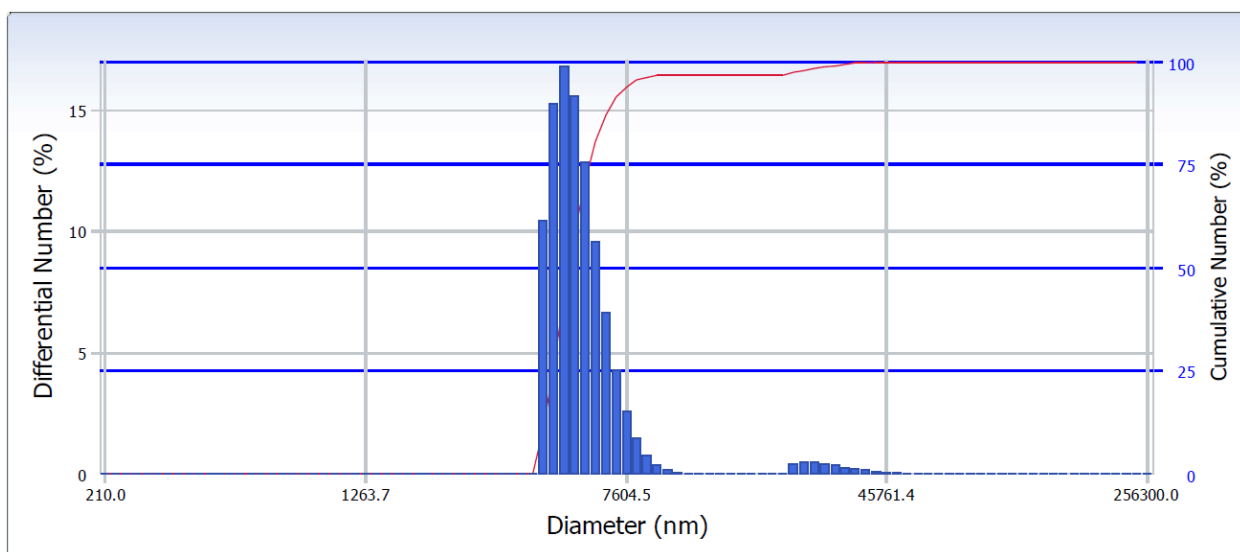


Рисунок 3.4 – Размерное распределение частиц в спиртовой суспензии после добавления NaOH

Оценка различных режимов помола показала, что наиболее эффективным по критериям размера и воспроизводимости является сухой помол исходного сырья на планетарной шаровой мельнице в течение 60 мин, позволяющий получать порошок с размером менее 1 мкм у 85 % частиц, при этом $S_{уд} = 102 \text{ м}^2/\text{кг}$.

С целью подтверждения возможности получения тонкодисперсного порошка магнетита с принятыми размерными характеристиками на различных размольных агрегатах, был выполнен помол очищенного порошка на шаровой и вибрационной мельницах.

Диспергирование магнетита на шаровой мельнице выполнялось в режиме сухого помола с использованием карбидвольфрамовой размольной гарнитуры (60 помольных тел диаметром 5 мм). Сопоставимая степень дисперсности была достигнута спустя 85 минут. При этом был получен образец со среднемассовым размером частиц 6,09 мкм, при этом 93,3% имело размер менее 1 мкм (рисунок 3.5).

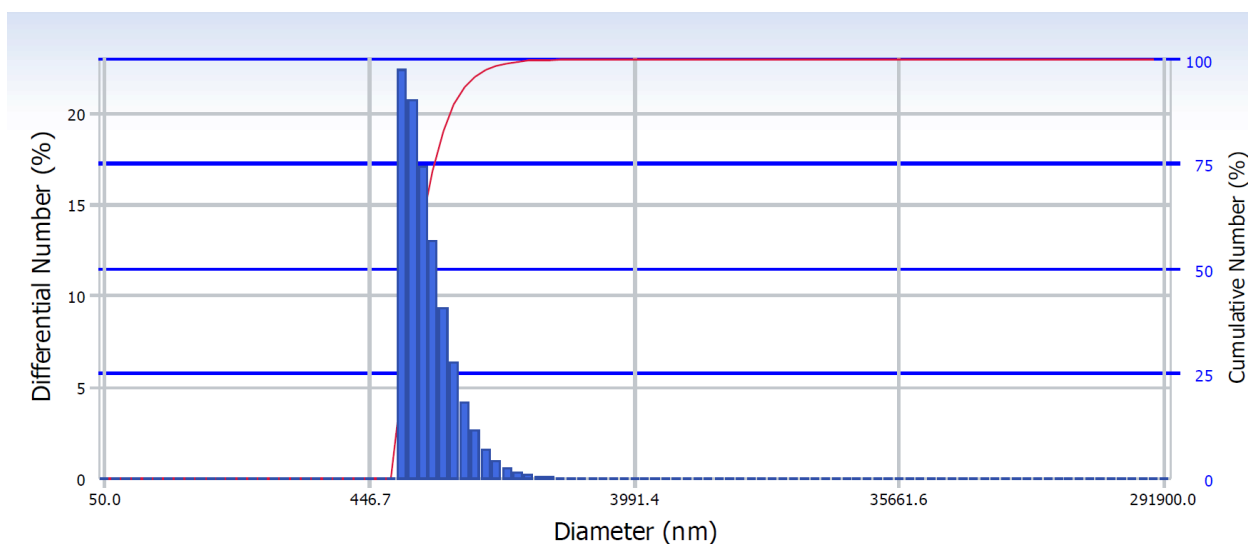


Рисунок 3.5 – Размерное распределение частиц после помола на шаровой мельнице

В результате измельчения магнетита на вибрационной мельнице был получен тонкодисперсный образец со среднемассовым размером частиц 4,4 мкм, при этом 96,7% имело размер менее 1 мкм, а суммарное время диспергирования составило 100 мин (рисунок 3.6).

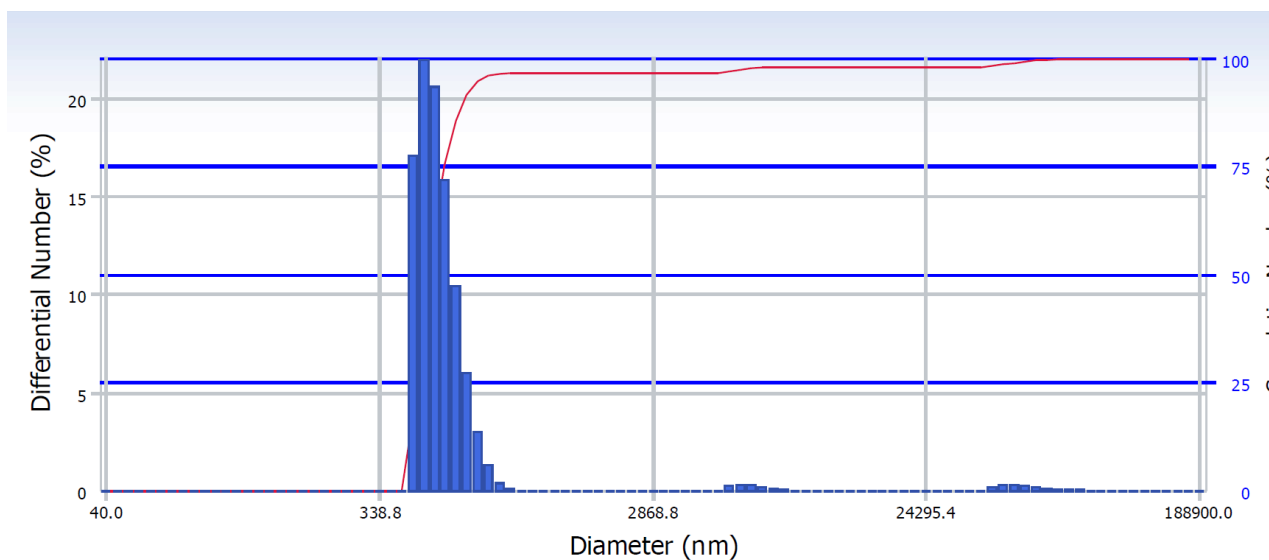


Рисунок 3.6 – Размерное распределение частиц после помола на шаровой мельнице

Сопоставление режимов размала, позволяющих получить тонкодисперсный образец с заданными размерными характеристиками, представлено в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Сравнение режимов размола, производимых с использованием различного оборудования

№	Размольный агрегат	Время размола, мин	Среднемассовый размер частиц, мкм	Кол-во частиц с размерами менее 1 мкм, %
1	Планетарная шаровая мельница	60	3,77	85,1
2	Шаровая мельница	85	6,09	93,1
3	Вибрационная мельница	100	4,9	96,7

В ходе экспериментов было установлено, что получить образец магнетита с размером частиц менее 1 мкм возможно с использованием различного размольного оборудования. В дальнейшем получение тонкодисперсных образцов для проведения лабораторных исследований выполнялось с использованием планетарной шаровой мельницы, позволяющей достигать необходимой степени дисперсности образца в более короткие сроки.

3.3 Обеспечение агрегативной устойчивости дисперсной системы

Агрегативная устойчивость частиц дисперсной фазы определяется ζ -потенциалом, так как в случае превышения величины поверхностного заряда частиц над значением электростатического барьера взаимодействия, не происходит укрупнения агрегатов. Таким образом, значительный по величине заряд частиц будет препятствовать укрупнению и дальнейшей седиментации твердой фазы. Известно также, что на величину ζ -потенциала поверхности оказывает существенное влияние рН дисперсионной среды. Это связано с тем, что ионы водорода, благодаря своему малому радиусу,

обладают способностью избирательно адсорбироваться на поверхности и эффективно изменять ζ -потенциал.

Для характеристики агрегативной устойчивости коллоидной системы были подготовлены водные растворы с разным значением показателя кислотности (рН 2–12). В водной суспензии концентрация частиц твердой фазы составляла 1–1,5%. Для каждой суспензии с разным рН значение ζ -потенциала определялось как среднее по результатам двух параллельных измерений (таблица 3.8). Протоколы испытаний представлены в приложении Б.

Таблица 3.8 – Значения ζ -потенциала частиц твердой фазы в зависимости от рН среды

рН среды	ζ -потенциал, мВ	рН среды	ζ -потенциал, мВ
2	5,89±0,40	8	–25,42±1,78
4	–19,16±1,21	10	–25,67±2,05
6	–22,41±1,57	12	–33,81±2,37

Проведенные эксперименты показали, что, как и в классическом варианте, величина рН среды влияет на значения ζ -потенциала твердой фазы. Так, в кислой среде при показаниях рН=2–6, ζ -потенциал изменяется на 126%, в щелочной среде при рН=10–12 – на 32%, а в нейтральной полученные значения варьировались в диапазоне 15%.

Оценка агрегативной устойчивости суспензии в заданном временном интервале осуществлялась путем измерения размера частиц дисперсной фазы после её введения в водный раствор через заданные интервалы: 0, 5, 10, и 20 мин (таблица 3.9).

Результаты эксперимента показали, что в суспензиях с рН 8 на протяжении всего ряда измерений наблюдался стабильный среднемассовый размер частиц 3,00±0,75 мкм. При этом, необходимо отметить, что данная микрогетерогенная система содержит порядка 85% частиц с размерными

характеристиками меньше 1 мкм. Данный факт может свидетельствовать об агрегативной стабильности полученной дисперсной системы, которая достигается за счет наличия в этих условиях достаточного электростатического барьера, препятствующего конгломерации частиц твердой фазы.

Таблица 3.9 – Размерные характеристики высокодисперсных образцов с разным значением pH среды

Время, мин	Среднемассовый размер частиц, мкм для суспензий с показателем кислотности		
	pH 2	pH 8	pH 12
0	3,89	3,77	3,17
5	2,36	3,13	1,28
10	1,74	2,29	1,35
20	1,64	3,15	1,45

Дальнейшее увеличение поверхностного заряда у частиц дисперсной фазы, которое наблюдается при величине pH 10–12, приводит к значительной гидратации наиболее тонкодисперсной (коллоидной) составляющей системы. Образование гидратных оболочек, определяющих агрегативную устойчивость частиц, связано с реализацией сольватационного механизма стабилизации тонкодисперсной части твердой фазы.

Для определения гидрофильности поверхности магнетита были проведены эксперименты по определению краевого угла смачивания (θ) водным раствором в исследуемом диапазоне pH методом лежащей капли. Полученные в ходе измерений значения (таблица 3.10) показали, что в кислой и нейтральной средах краевой угол смачивания поверхности магнетита сохраняет свое значение, а в щелочной среде гидрофильность поверхности увеличивается (рисунок 3.7). Результатом этого явления служит

образование гидратной оболочки, препятствующей укрупнению частиц коллоидной степени дисперсности.

Таблица 3.10 – Краевой угол смачивания образцов водным раствором с разным значением pH

pH	2	8	12
θ , град.	$34,7 \pm 3,3$	$37,5 \pm 3,1$	$11,5 \pm 1,8$

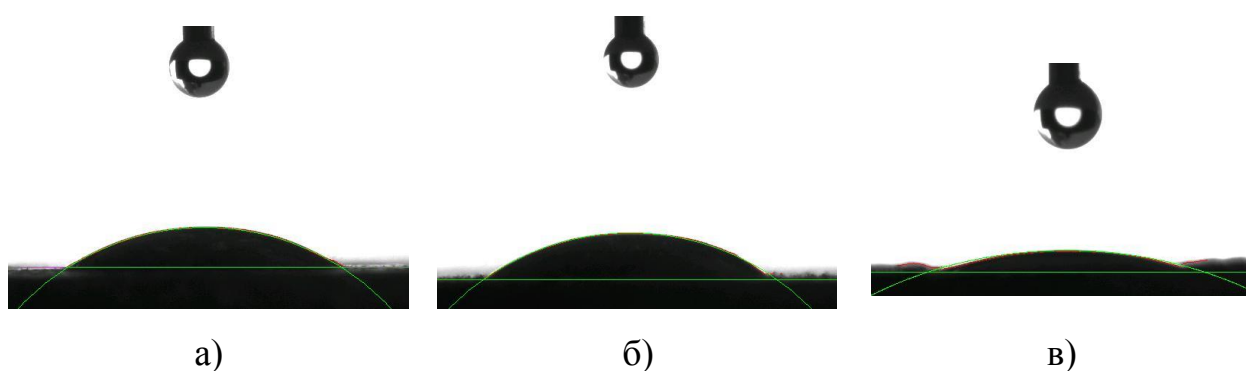


Рисунок 3.7 – Краевой угол смачивания поверхности магнетита водным раствором с показателем: а) pH 4, б) pH 8, в) pH 12

Гидратная оболочка частиц коллоидных размеров заметно снижает поверхностную энергию дисперсной фазы и, тем самым, еще сильнее уменьшает стремление частиц к укрупнению, что также повышает агрегативную устойчивость системы.

С целью установления причины уменьшения во времени в сильнощелочной среде среднemasсового размера частиц диспергированного магнетита, были проведены исследования по определению светопропускания водной суспензии магнетита. В результате изменения показателя кислотности дисперсионной среды с pH 8 на pH 12 наблюдалось резкое уменьшение коэффициента светопропускания (рисунок 3.8) с последующей стабилизацией значений.

Наблюдаемый процесс позволил сделать вывод о том, что сильнощелочная среда вызывает эффект адсорбционной пептизации

агрегатов крупнодисперсных частиц твердой фазы, образовавшихся при механическом размоле магнетита за счет процесса агрегации. Факт снижения с последующей стабилизацией среднемассового размера частиц дисперсной фазы (до $1,36 \pm 0,09$ мкм) при $\text{pH}=12$, наблюдаемый при исследовании среднемассового размера частиц во времени (таблица 3.9) объясняется этими явлениями.

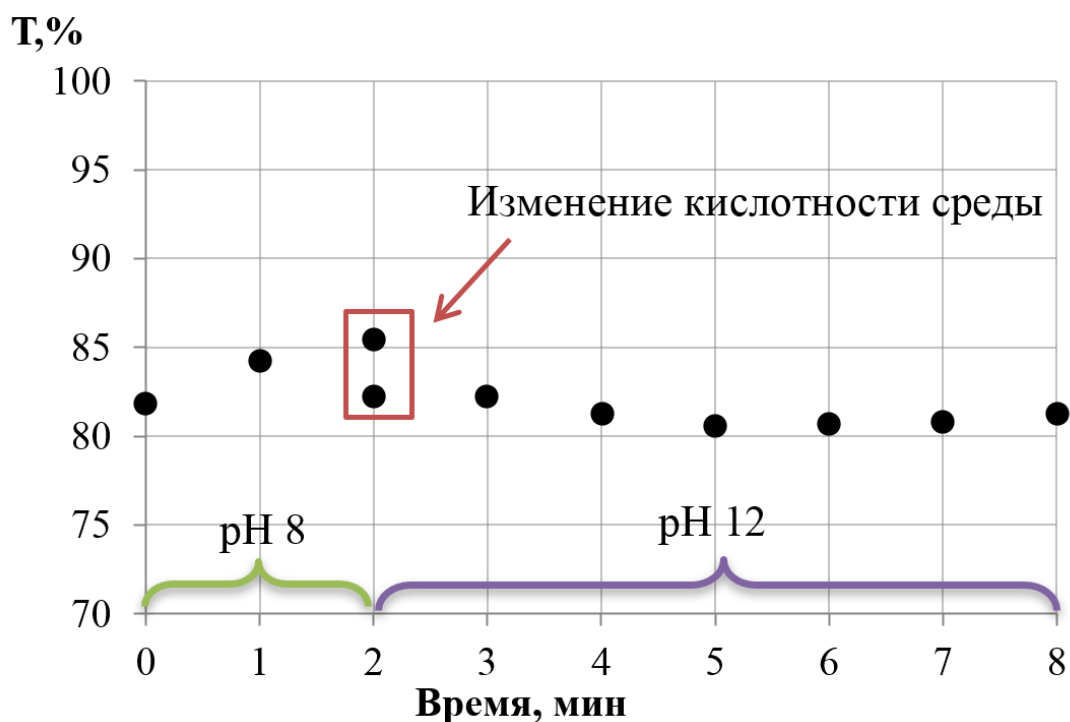
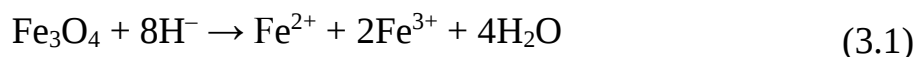


Рисунок 3.8 – Изменение коэффициента светопропускания при смене кислотности дисперсионной среды

В кислых водных средах нарушение агрегативной устойчивости суспензии магнетита связано с химической трансформацией вещества твердой фазы по следующей схеме:



В нейтральной и щелочной средах указанная химическая реакция (3.1) не происходит.

С целью подтверждения полученных экспериментальных результатов был произведен расчет энергии взаимодействия согласно положениям теории

ДЛФО [136]. В соответствии с данной теории основными факторами, влияющими на устойчивость магнитореологических жидкостей, являются:

- технология получения и стабилизации;
- величина pH среды;
- наличие стабилизаторов (ПАВ или полимер).

Для расчёта величины энергии взаимодействия между двумя частицами дисперсной системы использовались зависимости (3.2-3.5)

$$U_{вз} = U_{отт} + U_{прит} , \quad (3.2)$$

где $U_{вз}$ - энергия взаимодействия, Дж;

$U_{отт}$ – энергия отталкивания между частицами, Дж;

$U_{прит}$ – энергия притяжения между частицами, Дж.

$$U_{отт} = 2 \pi \varepsilon \varepsilon_0 \varphi_\delta^2 r \ln(1 + e^{-\chi H}) , \quad (3.3)$$

где r – радиус частицы, м;

φ_δ – потенциал поверхности, Дж;

ε – диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды, Ф/м;

ε_0 – электрическая постоянная, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

H – расстояние между поверхностями частиц в зоне перекрытия поверхностных слоёв, м;

χ – величина, обратная толщине поверхностного слоя.

$$\chi = \sqrt{\frac{2 F^2 I}{\varepsilon \varepsilon_0 R T}} , \quad (3.4)$$

где F – постоянная Фарадея, $F = 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль;

I – ионная сила раствора, $I = \frac{1}{2} \sum C_i z_i^2$ (для суспензий с pH 12 и pH 2 нужное значение pH достигалось добавлением электролитов $NaOH$ и HCl . В этом случае $I=0,01$. Для суспензии с pH 8 данный параметр практически равен нулю, $I=0$);

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль·К);

T – температура, $T = 298$ К.

$$U_{\text{прит}} = \frac{-A r}{12 H}, \quad (3.5)$$

где A – постоянная Гамакера, которая зависит от свойств частиц и жидкостиносителя, $A = 0,34 \cdot 10^{-19}$ Дж [166].

При значениях $U_{\text{вз}} < 0$ коллоидная система является агрегативно неустойчивой, а при значениях $U_{\text{вз}} > 0$ она устойчива.

Результаты расчета для суспензий с показателем кислотности дисперсионной среды pH 2, 8, 12 представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Энергия взаимодействия между частицами дисперсной системы

№	Энергия притяжения, $U_{\text{прит}}$, Дж	Энергия отталкивания, $U_{\text{отт}}$, Дж	Энергия взаимодействия, $U_{\text{вз}}$, Дж
pH 2	$-5,67 \cdot 10^{-19}$	$1,03 \cdot 10^{-19}$	$-4,64 \cdot 10^{-19}$
pH 8		$1,99 \cdot 10^{-18}$	$1,42 \cdot 10^{-18}$
pH 12		$3,40 \cdot 10^{-18}$	$2,83 \cdot 10^{-18}$

Полученные значения энергии взаимодействия подтверждают данные экспериментов. Таким образом, при величине pH 2 водная суспензия магнетита является агрегативно неустойчивой, что приводит к укрупнению частиц дисперсной фазы и нарушению седиментационной устойчивости, объясняющейся уменьшением среднемассового размера частиц во времени (таблица 3.9).

В связи с этим для обеспечения агрегативной устойчивости водной суспензии магнетита с размером частиц дисперсной фазы менее 1 мкм необходимо обеспечивать pH дисперсионной среды >7 .

3.4 Обеспечение седиментационной устойчивости дисперсной системы

Размеры частиц в суспензиях охватывают довольно большой интервал: от 10^{-5} до 10^{-2} см и более. Поэтому молекулярно-кинетические свойства суспензий различны и определяются степенью их дисперсности.

В агрегативно устойчивых суспензиях у частиц дисперсной фазы размером от 10^{-6} до 10^{-4} м броуновское движение практически отсутствует, а скорость седиментации определяется уравнением [167]:

$$U_{\text{сед}} = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta} \quad (3.6)$$

где r – радиус частиц;

ρ – плотность частиц дисперсной фазы, $\rho = 4980 \text{ кг/м}^3$;

ρ_0 – плотность дисперсионной среды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

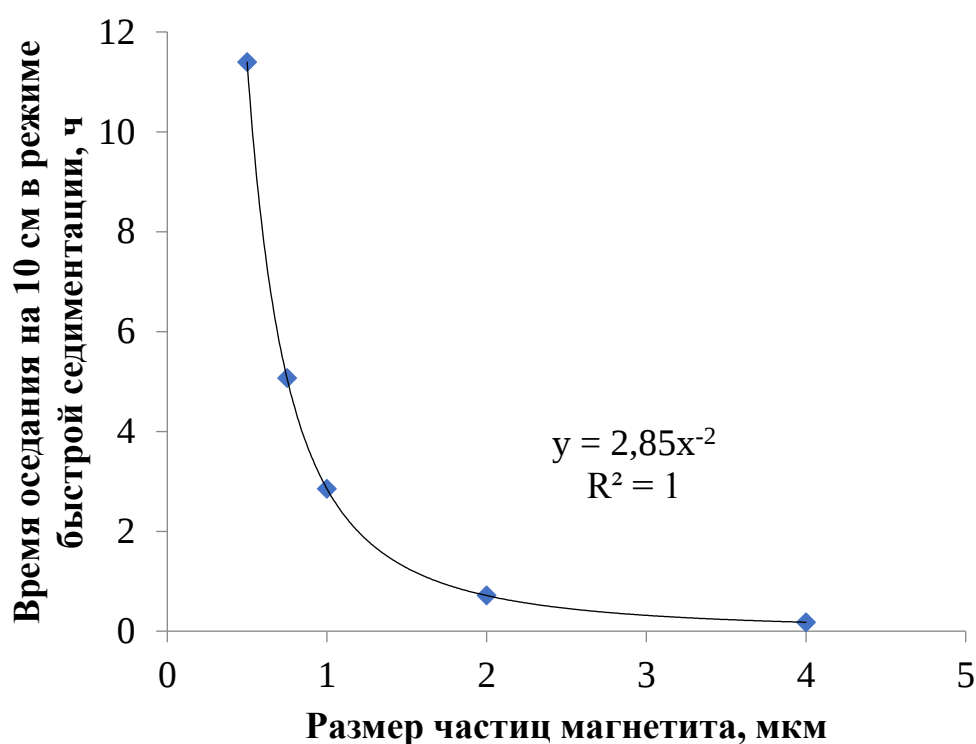
η – вязкость дисперсионной среды, $\eta = 8,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Суспензии являются полидисперсными системами, содержащими в том числе крупные частицы, не участвующие в броуновском движении, суспензии являются седиментационно неустойчивыми системами. Если плотность частиц меньше плотности дисперсионной среды, то они всплывают, а если больше – оседают. Результаты расчета скорости седиментации исследуемой магнитореологической суспензии магнетита в зависимости от размера частиц дисперсной фазы представлены в таблице 3.12.

Для оценки седиментационной устойчивости суспензии был произведен расчет времени оседания частиц дисперсной фазы на 10 см в режиме быстрой седиментации (рисунок 3.9).

Таблица 3.12 – Скорость седиментации частиц магнетита

№	Радиус частиц, r, мкм	Скорость седиментации, $U_{\text{сед}}$, м/с
1	0,5	$2,4 \cdot 10^{-6}$
2	0,75	$5,5 \cdot 10^{-6}$
3	1	$9,7 \cdot 10^{-6}$
4	2	$3,9 \cdot 10^{-5}$
5	4	$1,5 \cdot 10^{-4}$

**Рисунок 3.9** – Изменение времени оседания
в зависимости от размера частиц

Полученная зависимость позволяет сделать вывод о том, что в случае размера частиц дисперсной фазы менее 1 мкм время седиментационной устойчивости рассматриваемой суспензии составляет около 4 часов.

Для подтверждения теоретического расчета были проведены лабораторные исследования. Эксперименты по определению седиментационной устойчивости выполнялись на образцах водных суспензий магнетита с показателем кислотности дисперсионной среды pH 8 и 12. Ввиду

того что подготовленные суспензии были достаточно разбавлены, а частицы оптически не взаимодействовали друг с другом, в качестве контролирующего параметра был принят показатель рассеяния падающего на систему света, или мутность [168]:

$$I_{\text{пр}} = I_0 \cdot e^{-\tau l} \quad (3.7)$$

где $I_{\text{пр}}$ – интенсивность прошедшего через систему света;

I_0 – интенсивность падающего на систему света;

τ – мутность;

l – толщина слоя, вызывающего ослабление интенсивности падающего света.

Коэффициент светопропускания суспензии определяется выражением:

$$\frac{I_{\text{пр}}}{I_0} = \frac{T}{100} \quad (3.8)$$

где T – коэффициент светопропускания, %

Мутность суспензии определяет частичную концентрацию дисперсной фазы:

$$\tau = B \cdot n \cdot V^2 \cdot \lambda^{-k} \quad (3.9)$$

где B – постоянная суспензии, зависящая от показателей преломления дисперсной фазы и дисперсионной среды;

V – объем частиц, неизменяющийся в ходе эксперимента;

λ – длина волны падающего света;

k – коэффициент, зависящий от радиуса частицы и показателей преломления среды;

n – частичная концентрация суспензии.

Исследование изменения мутности суспензии во времени проводилось путем изменения коэффициента светопропускания в течение 6 часов. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Определение частичной концентрации

t, мин	pH 8				pH 12			
	T, %	τ , см ⁻¹	Δ	Δ , %	T, %	τ , см ⁻¹	Δ	Δ , %
0	85,0	0,163	0,001	0,72	82,2	0,196	0	0
10	85,1	0,161			82,2	0,196		
20	85,1	0,161	0,002	1,45	82,2	0,196	0,001	0,75
30	85,2	0,160			82,3	0,195		
60	85,2	0,160	0,004	2,19	82,4	0,194	0,002	1,50
90	85,3	0,159			82,4	0,194		
120	85,3	0,159	0,005	2,89	82,5	0,192	0,004	2,24
150	85,4	0,158			82,5	0,192		
180	85,4	0,158	0,006	3,61	82,6	0,191	0,006	3,73
210	85,5	0,157			82,7	0,190		
240	85,5	0,157	0,011	6,48	82,7	0,190	0,007	4,10
270	85,9	0,152			82,8	0,189		
300	86,3	0,147	0,023	14,31	82,9	0,188	0,016	9,66
330	87,0	0,139			83,5	0,180		
360	87,7	0,131	0,040	24,83	84,3	0,171	0,033	20,61
390	88,5	0,122			85,0	0,163		
420	89,3	0,113	0,049	30,37	86,1	0,150	0,046	28,52

Результаты экспериментов показали, что мутность суспензии, а значит и частичная концентрация, практически сохраняет свое значение на протяжении 4 часов проведения эксперимента (отмеченные изменения в размерном диапазоне не превышают $\pm 4\%$). Эксперименты показали, что (по истечении этого периода) для восстановления характеристик суспензии достаточно провести ее ультразвуковую обработку продолжительностью 3–5 мин.

3.5 Выводы

1. Для получения тонкодисперсного порошка магнетита с размером менее 1 мкм у 85% частиц с использованием планетарной шаровой мельницы необходимо применять карбид вольфрамовую размольную гарнитуру с 60 помольными телами диаметром 5 мм и осуществлять сухой помол в течение 60 минут при частоте вращения ротора 420 об/мин.

2. Для получения тонкодисперсного порошка магнетита с необходимыми (аналогичными) размерными характеристиками с использованием других размольных аппаратов (шаровая мельница, вибрационная мельница) время диспергирования необходимо увеличить.

3. Стабилизация размерных характеристик частиц твердой фазы во времени наблюдалась в диапазоне постоянного ζ -потенциала твердой фазы.

4. Для получения стабильной агрегативно и седиментационно устойчивой водной суспензии магнетита методом механического диспергирования необходимо выдерживать pH дисперсионной среды в диапазоне 8–12.

4 МАГНИТРЕОЛОГОЧЕСКАЯ СУСПЕНЗИЯ МАГНЕТИТА КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА И ИНДИКАТОРНАЯ ЖИДКОСТЬ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Электропроводящие свойства магнитореологической суспензии магнетита определяются содержанием токопроводящей фазы. При этом важно установить концентрационные интервалы, в которых изменение электропроводящих свойств подчиняется определенной зависимости. Использование суспензии в качестве составляющей строительных смесей накладывает ограничение на ее содержание в общем объеме, так как может привести к изменению свойств как смеси, так и затвердевшего материала. В связи с этим требуется изучение структурно-механических свойств вяжущих при различных концентрациях добавок, а также физико-механических и деформационных характеристик композитов на их основе.

Рационально подобранные составы смесей с использованием добавки позволят разрабатывать и применять методы контроля качества (сплошности и целостности) строительных изделий, в основу которых заложены электромагнитные свойства МСМ (рисунок 4.1).

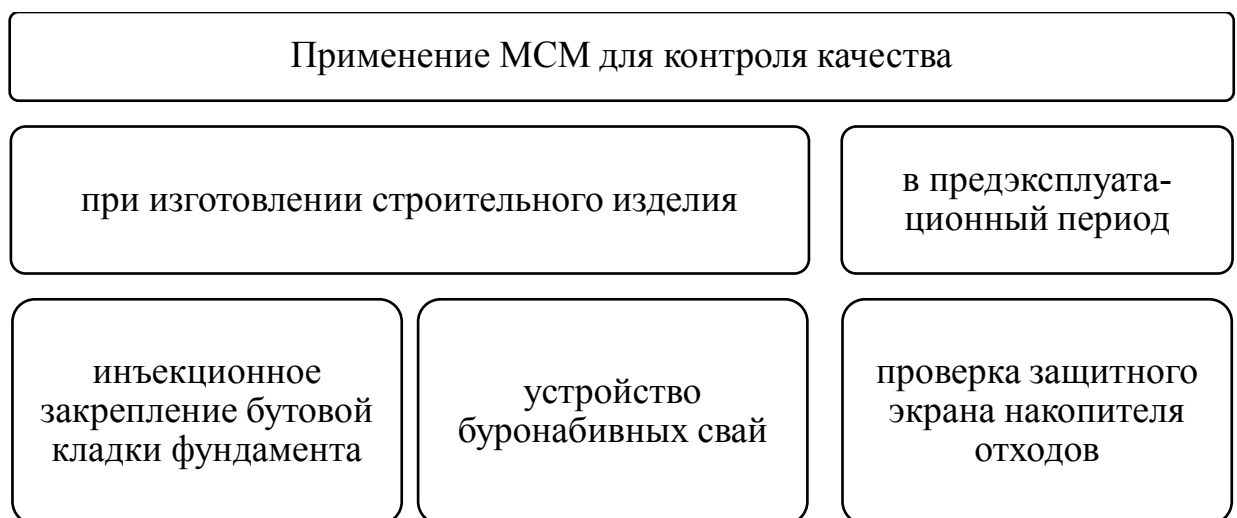


Рисунок 4.1 – Направления реализации концепции применения МСМ

4.1 Исследование электропроводящих свойств магнитореологической суспензии магнетита

Для подтверждения гипотезы о возможности разработки новых способов контроля качества строительных изделий за счет способности МСМ изменять электропроводящие свойства жидкотекучих сред, был проведен эксперимент по выявлению зависимости электрической проводимости суспензии магнетита от содержания в ней добавки электропроводящего компонента.

На основе тонкодисперсных порошков магнетита, полученных путем размола обогащенного сырья на разных размольных агрегатах, были подготовлены водные суспензии с концентрацией дисперсной фазы 5%. Для данных суспензий методом кондуктометрии устанавливалось значение удельной электрической проводимости (таблица 4.1)

Таблица 4.1 – Удельная электрическая проводимость суспензий с концентрацией токопроводящей фазы 5%

№	Размольное оборудование	Удельная электрическая проводимость, σ См/м
1	Планетарная шаровая мельница	0,212
2	Шаровая мельница	0,204
3	Вибрационная мельница	0,225

В результате экспериментов были получены значения удельной электрической проводимости суспензий, отличающиеся на $\pm 5\%$. В дальнейших исследованиях использовалась суспензия, полученная на основе тонкодисперсного образца, измельченного в планетарной шаровой мельнице.

Исследование влияния концентрации токопроводящей фазы на электропроводящие свойства суспензии производилось на образцах с содержанием дисперсной фазы от 0,01 до 10%. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Удельная электрическая проводимость МСМ

Содержание твёрдой фазы, %	Содержание твёрдой фазы по массе цемента, %	Удельная электрическая проводимость, σ См/м	Объёмная доля магнетита, %
10,00	5,00	0,261	2,182
7,50	3,75	0,241	1,646
5,00	2,50	0,212	1,103
3,75	1,88	0,183	0,830
3,00	1,50	0,165	0,665
2,50	1,25	0,159	0,555
1,88	0,94	0,139	0,417
1,50	0,75	0,126	0,334
0,75	0,38	0,085	0,167
0,38	0,19	0,061	0,084
0,19	0,09	0,044	0,042
0,09	0,05	0,035	0,021
0,05	0,02	0,027	0,010
0,02	0,01	0,020	0,005
0,01	0,01	0,018	0,003
0	0,00	0,005	0,000

Графическое представление зависимости удельной электрической проводимости МСМ в зависимости от концентрации (С) твёрдой фазы (рисунок 4.2), позволяет судить о высокой скорости изменения электропроводящих характеристик при малых значениях концентрации (до 1%).

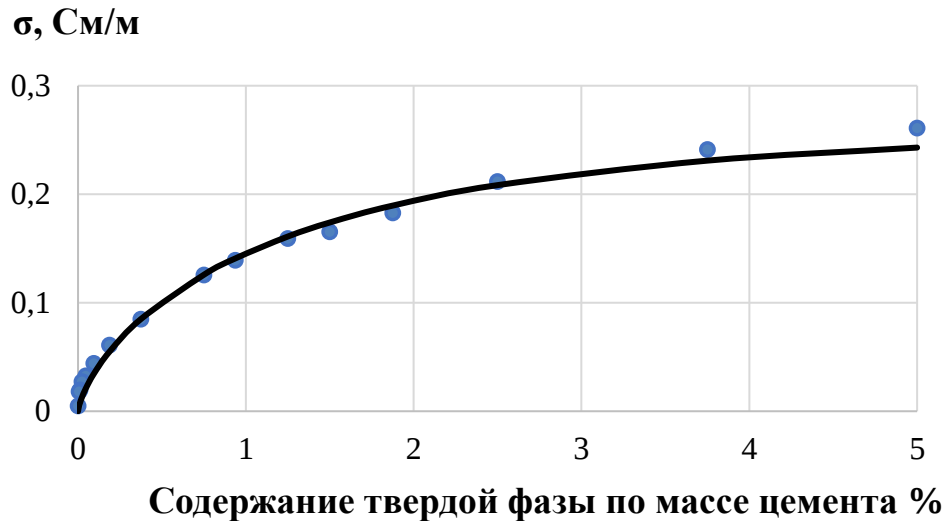


Рисунок 4.2 – Изменение удельной электрической проводимости МСМ в зависимости от концентрации (С) твердой фазы

Математическое выражение данной зависимости имеет следующий вид:

$$\sigma = \sigma_{max} [1 - \exp(-0,814C^{0,739})], \quad (4.1)$$

где $\sigma_{max}=0,261$.

Для установления механизма проводимости данной системы были применены основы теории протекания, рассматривающей вероятность образования кластеров из касающихся друг друга частиц, как причину изменения электропроводящих свойств системы. Одним из наиболее важных параметров теории протекания является порог протекания – величина концентрации добавки токопроводящего компонента, при которой возникает протекание (электропроводящие свойства).

Концентрация (объемная доля) наполнителя в системе может измениться в интервале от 0 до 1, при этом электропроводность системы в первом случае будет обусловлена токопроводящими свойствами среды, а во втором – наполнителя. С увеличением концентрации наполнителя в среде формируются небольшие скопления электропроводящих частиц, кластеры. По мере того, как концентрация увеличивается, кластеры разрастаются,

постепенно образуя цепочки, разделенные друг от друга непроводящим материалом. При достижении порогового значения система становится проводящей.

Проведенный анализ распределения частиц магнетита в объемной фазе суспензии на соответствие критериям теории протекания позволил предложить механизм возникновения электропроводящих свойств. Учитывая наиболее вероятную структуру токопроводящей цепочки в виде бесконечного кластера, произведен расчет порогового значения объемной доли компонента (таблице 4.3), при котором возникнет протекание. Основываясь на предположении о том, что бесконечный кластер – это цепочка, в расчете использовано координационное число $Z=2$, обуславливающее соединение каждой из частиц с двумя соседними. Количественным критерием начала данного процесса является величина η , которая рассчитывается по выражению [169]:

$$\eta = 0,085z_i \quad (4.2)$$

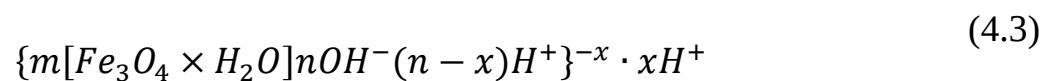
где z_i – координационное число.

Таблица 4.3 – Параметры пространственных решеток [170]

Тип решетки	Координационное число, z_i	Пороговое значение, η
Бесконечный кластер	2	0,170
	3	0,255
Тетраэдрическая	4	0,340
	5	0,425
Простая кубическая	6	0,510
	7	0,595
Объемноцентрированная кубическая	8	0,680

Установлено, что частицы магнетита в исследуемой среде не образуют систему частиц, контактирующих непосредственно друг с другом (максимальная объемная доля частиц (v) для концентрации суспензии 10% составила 0,022, что меньше порогового значения, равного $\eta = 0,17$ [169].

Электропроводность суспензии, на наш взгляд, объясняется образованием мицелл из частиц коллоидной степени дисперсности (менее 1 мкм). Строение такой мицеллы можно представить следующей мицеллярной формулой:



Агрегатом в данном образовании является гидратированный магнетит с адсорбционным слоем потенциалопределяющих ионов (OH^-) и размытым диффузным слоем противоионов H^+ . У сформировавшейся мицеллы под действием электрического поля смещается диффузный слой, а заряженная коллоидная частица – это гидратированный магнетит ($Fe_3O_4 \times nH_2O$) с адсорбционным слоем потенциал определяющих ионов – (имеющая отрицательный знак заряда) обеспечивает электропроводность суспензии.

4.2 Зависимость физико-механических и деформационных характеристик цементно-песчаного раствора от концентрации МСМ

Исследование влияния добавки МСМ на свойства смесей на цементном вяжущем, а также на характеристики композитов на их основе выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний». Введение суспензии магнетита совместно с водой затворения обеспечивает более равномерное распределение твердой фазы в объеме смеси.

Анализ свойств исследуемых цементно-песчаных растворов (таблица 4.4) позволил установить концентрационные диапазоны МСМ.

Таблица 4.4 – Свойства цементно-песчаного раствора

№ п/п	Содержание добавки, %	Свойства растворной смеси				Свойства затвердевшего раствора			
		Подвижность	Водоудерживающая способность	Расплаиваемость, %	Средняя плотность смеси, кг/м ³	Прочность, МПа		Морозостойкость	Средняя плотность раствора, кг/м ³
						на сжатие	на изгиб		
1	0	П _{к2}	92,1	9,5	2190	42,13	5,13	F100	2145
2	1		92,2	9,4	2200	44,41	7,02		2175
3	3		92,6	9,2	2220	42,68	6,41		2200
4	5		92,5	8,8	2235	41,75	6,28		2215
5	10		92,1	9,4	2270	35,19	6,36		2220
6	20		92,0	9,5	2300	33,93	6,33		2230

Результаты испытаний серий образцов каждого состава показали, что введение магнетита приводит к незначительному увеличению плотности как смеси, так и затвердевшего раствора. Введение 1% добавки приводит к увеличению плотности смеси и раствора в среднем на 0,5%. При этом концентрация добавки 10% приводит к снижению прочности строительного раствора на 16,5%, а концентрация 20% - на 19,5%. При концентрации до 10% МСМ значения изменяются в диапазоне 5%.

4.3 Оценка влияния добавки магнетита на структурообразование цементного камня

Оценка свойств цементно-песчаного раствора с различным содержанием добавки МСМ показала отсутствие негативного влияния при концентрации магнетита в смеси до 10 % (значения определяемых характеристик не снижаются). Известно, что составляющие магнетит химические соединения (оксиды железа) химически инертны в щелочной

среде, кроме того, наши исследования (гл. 3) показали, что в нейтральной и щелочной среде частицы магнетита являются агрегативно устойчивыми и не подверженными химической трансформации. Вышеизложенное дает основание утверждать, что частицы магнетита в цементно-песчаном растворе должны проявлять свойства высокодисперсного наполнителя. Для подтверждения этой гипотезы нами выполнены следующие эксперименты:

- исследование кинетики тепловыделения портландцемента при гидратации с добавкой магнетита;
- определение пуццолановой активности добавки;
- оценка динамики набора прочности цементного камня с добавкой.

4.3.1 Кинетика тепловыделения при гидратации портландцемента

Изучение влияния МСМ на гидратацию портландцемента в ранний период выполнялось методом изотермической калориметрии.

Одним из основных физико-химических параметров, определяющих тепловой эффект процесса является удельная теплопроводность материала (C), ее значительное различие для исследуемых образцов приводит к возникновению непропорциональных тепловых эффектов. Поэтому в классической калориметрии используется в качестве информационного параметра тепловой эффект (изменение энтальпии) процесса, рассчитываемый на основании экспериментально определенного повышения температуры (с учетом теплоемкости калориметрической системы). Однако в нашем случае, так как среднее значение теплопроводности цемента $C_{\text{ц}} = 800$ Дж/(кг·К); магнетита $C_{\text{м}} = 586$ Дж/(кг·К) [171] и исходя из того, что изменение теплофизических свойств смеси подчиняется правилу аддитивности, для смеси с 5% содержанием магнетита (30 г цемента, 1,5 г магнетита) теплопроводность будет определяться по уравнению 4.4.

$$C_{\text{см}} = 0,95 \cdot 800 + 0,05 \cdot 586 = 789,3 \text{ Дж/(кг·К)} \quad (4.4)$$

Таким образом, теплопроводность смеси с МСМ изменяется по отношению к контрольному образцу (цементу) на 1,3%. Поэтому для калориметрической оценки возможного изменения кинетики процесса гидратации клинкерных минералов при введении в состав цемента 5% добавки МСМ, допускаем теплопроводность опытных образцов постоянной величиной, а в качестве информационного параметра используем величину изменения температуры калориметрической системы. Для эксперимента были подготовлены образцы цементной смеси нормальной густоты без добавки, а также с 5% МСМ, измерение температуры (T) во времени (t) при гидратации выполнялось в течение 48 часов, при этом к 32 часам значение температуры достигло постоянного значения (рисунок 4.3).

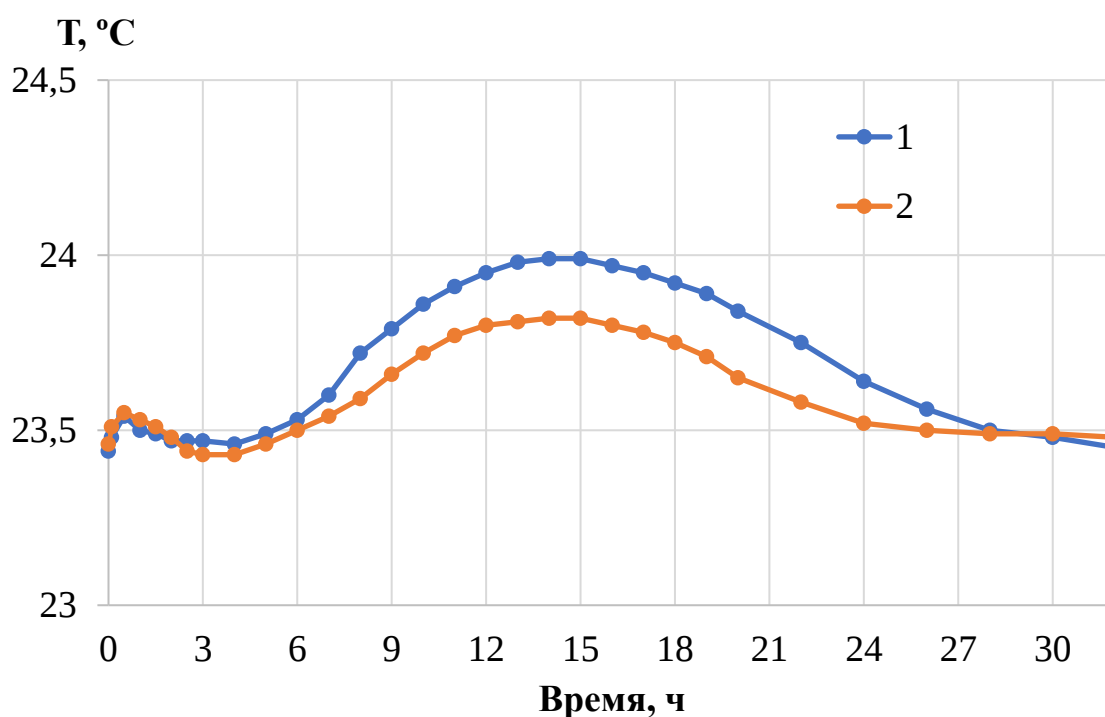


Рисунок 4.3 – График изменения температуры при гидратации портландцемента:
1 – цемент; 2 – цемент + МСМ 5%

Полученные зависимости имеют схожий характер и соответствуют традиционным зависимостям для портландцемента. Первый пик (начальная фаза гидратации) связан с процессом экзотермического смачивания. Вторым пиком на диаграмме – основным пиком тепловыделения (средняя стадия

гидратации) соответствует гидратации. Используемый портландцемент является нормальнотвердеющим, поэтому основной пик тепловыделения наблюдается через 15 часов после затворения водой.

Сравнение экспериментальных результатов, полученных для испытываемых образцов, показало, что наблюдается снижение температуры в смеси с добавкой МСМ, что обусловлено уменьшением содержания портландцемента в системе, изменением количества жидкой фазы (используемая твердая фаза добавки сорбируют воду).

Основной пик тепловыделения (процесса гидратации) в исследуемых образцах цемента без добавки и с 5% МСМ описывается схожими по характеру уравнениями (4.5) и (4.6), соответственно.

$$T = -0,005t^2 + 0,140t + 22,906 \quad (4.5)$$

$$T = -0,004t^2 + 0,107t + 23,013 \quad (4.6)$$

Выражения (4.5) и (4.6) описывают экспериментальные результаты с коэффициентом достоверности аппроксимации (R^2) 0,97 и 0,95, соответственно.

Дифференцирование полученных выражений по времени позволило получить математические уравнения скорости процесса гидратации опытных образцов (используя в качестве основного информационного параметра температуру процесса). Так, для образца портландцемента скорость реакции подчиняется выражению (4.7), а для смеси цемента с МСМ – выражению (4.8):

$$\frac{dT}{dt} = -0,010t + 0,140 \quad (4.7)$$

$$\frac{dT}{dt} = -0,008t + 0,107 \quad (4.8)$$

Экстремумы функциональной зависимости $T = f(t)$ (рисунок 4.2) имеют нулевое значение первой производной, поэтому выражения (4.7) и (4.8) позволили рассчитать временную характеристику процесса гидратации опытных образцов. Так, сравнение полученные значений показало, что для

портландцемента без добавок основной пик приходится на 15,6 часа с начала эксперимента, при добавлении суспензии с добавкой в качестве твердой фазы 5% магнетита – 15,3 часа. Некоторое смещение основного пика тепловыделения в присутствие добавок может быть обусловлено ускоренным гетерогенным зародышеобразованием гидратов на частицах инертных материалов.

Таким образом, изучение влияния суспензии магнетита на процесс гидратации клинкерных минералов в ранние сроки (кинетика тепловыделения), показало, что магнетит проявляет свойства тонкодисперсного наполнителя. Так, установлено, что в первые минуты при введении МРС происходит интенсивное тепловыделение в результате смачивания микродисперсных частиц магнетита. В дальнейшем наблюдается снижение интенсивности основного пика гидратации и суммарного тепловыделения за счет уменьшения доли цемента. При этом можно отметить, что использование добавки незначительно ускоряет начало периода гидратации. Это может быть связано с тем, что поглощение части воды минеральным компонентом на начальных этапах ускоряет процесс насыщения среды ионами Ca^{2+} . Кроме того, добавка тонкодисперсных частиц магнетита может являться дополнительными центрами кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

4.3.2 Пуццолановая активность тонкодиспергированного магнетита

Пуццолановая активность добавки в составе строительной смеси влияет на процесс структурообразования вяжущего и, как следствие, на его конечные характеристики. Для оценки пуццолановой активности магнетита был применен метод поглощения извести из известкового раствора (рисунок 4.4).

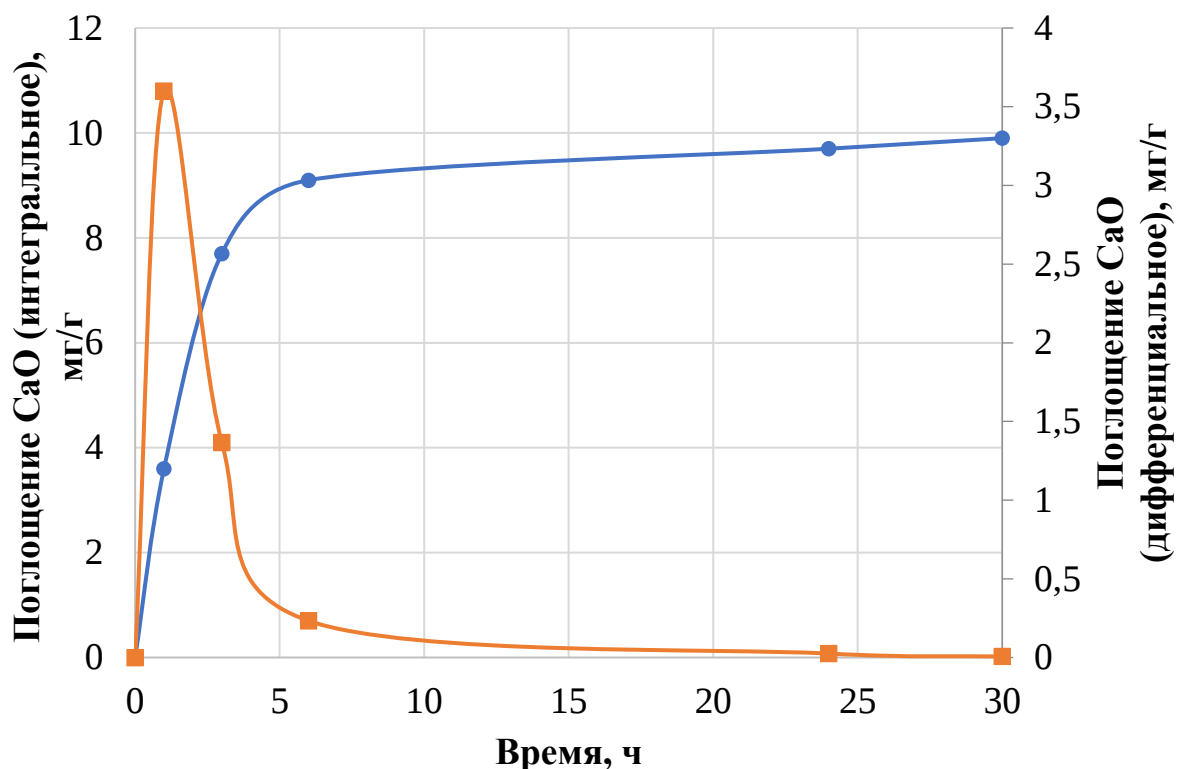


Рисунок 4.4 – Поглощение CaO из известкового раствора 1 г исследуемого материала: (—) – интегральное, (—) – дифференциальное

Полученные результаты показывают, что активность тонкодисперсного магнетита за 30 часов составила $A = 9,9$ мг/г. В присутствии добавки концентрация CaO в растворе снижается на 7,9% от первоначального значения. Наибольшее изменение концентрации наблюдается в первый час эксперимента, затем к 5 ч скорость изменения концентрации снижается (дифференциальная зависимость) и практически становится равной нулю (концентрация CaO в реакционной среде не изменяется – интегральная зависимость). Изменение концентрации оксида кальция в первые часы эксперимента может быть обусловлено его физической сорбцией на частицах магнетита. В дальнейшем концентрация CaO в присутствии магнетита не изменяется. Таким образом, как и ожидалось, добавка не взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и не обладает пуццолановой активностью.

4.3.3 Влияние МСМ на прочность цементного камня

С целью установления влияния добавки МСМ на свойства и динамику набора прочности цемента, была проведена серия параллельных экспериментов в этом направлении на образцах вяжущего без добавки и с содержанием 5% МСМ (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Сравнение свойств вяжущего

Состав смеси	Без добавки	5% магнетита
Водотвердое отношение	0,37	0,35
Нормальная густота, %	36,7	36,7
Начало схватывания, мин	135	125

Результаты эксперимента показали, что включение добавки незначительно уменьшает время схватывания цемента – на 3,3 %. Такой эффект может быть обусловлен ускоренным зародышеобразованием гидросиликатов.

С учетом подобранного водотвердого отношения были подготовлены образцы в виде балочек ($40 \times 40 \times 160$ мм) и исследована динамика набора прочности на 1, 3, 7, 14, 21 и 28 суток (рисунок 4.5).

Результаты определения прочности образцов на ранних стадиях твердения (1 – 28 сут) показали, что введение 5% МСМ практически не влияет на динамику набора прочности цементного камня. Значения прочности контрольного образца и образца с добавкой, полученные в каждой серии испытаний, изменяются в диапазоне 0,2 – 5,1 %.

Таким образом, в результате испытаний вяжущего с использованием добавки установлено, что МСМ проявляет свойства тонкодисперсного наполнителя, ее использование позволяет сохранить прочность, соответствующую марке используемого в работе вяжущего (ЦЕМ I 42,5 Н).

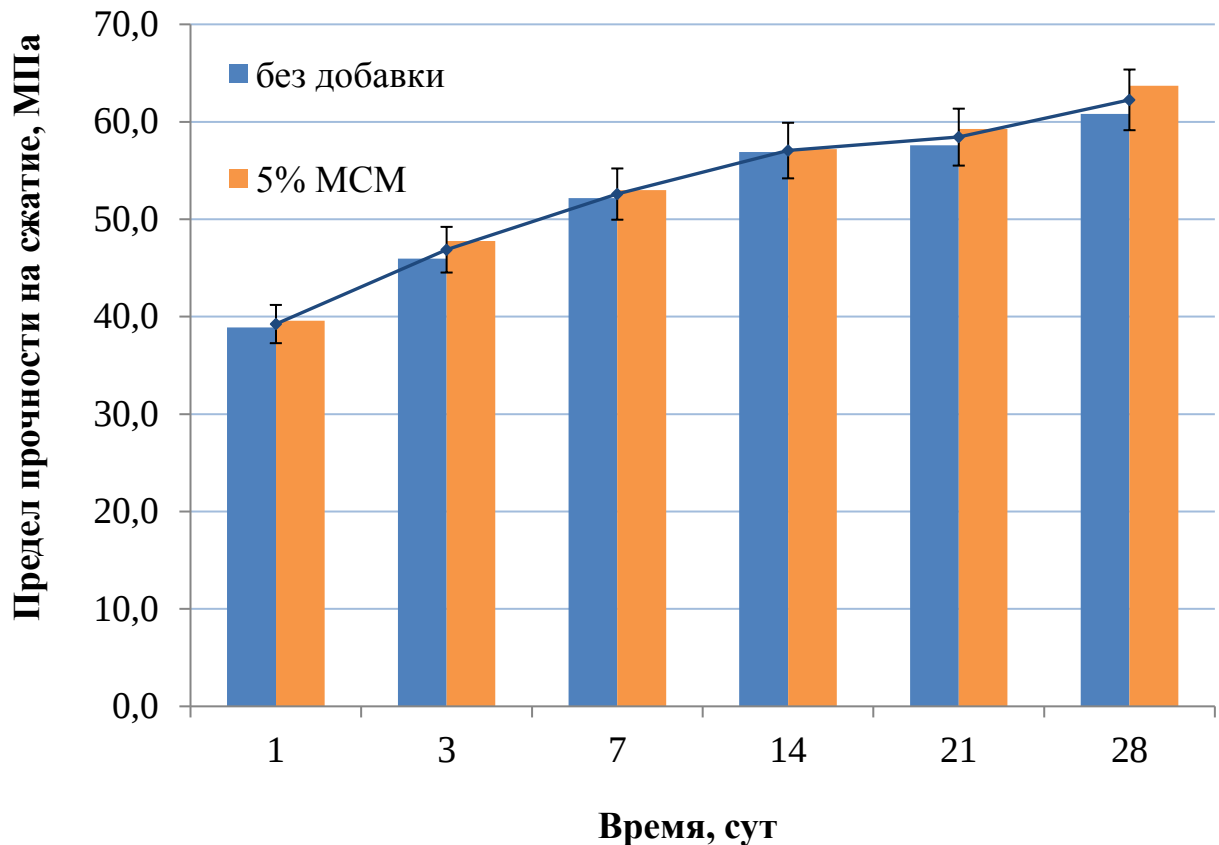


Рисунок 4.5 – Влияние добавки МСМ на прочность цемента

На основании полученных данных о кинетике набора прочности цемента с использованием добавки МСМ проведен расчет прогнозируемой прочности, по методике, разработанной д.т.н., профессором Ш.М. Рахимбаевым [165]. Согласно предложенной методике, выполняется расчет коэффициента торможения. Актуальность и важность использования данного метода в работе обусловлена его проработанностью и универсальностью, с точки зрения практической применимости для различных систем. В основу расчета положена теория переноса. При производстве и эксплуатации строительных материалов, изделий и конструкций выделяют два частных случая, которые описываются следующими уравнениями:

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_0 + k_1 \cdot \sigma \quad (4.9)$$

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_0 + k_2 \cdot \tau \quad (4.10)$$

где τ – время твердения (гидратации), сут;

σ – предел прочности при сжатии, МПа;

$(\tau/\sigma)_0$ – величина, обратная начальной скорости твердения (гидратации), сут/МПа;

k_1 и k_2 – коэффициенты торможения процесса твердения (гидратации).

Прогнозная прочность вяжущего определяется исходя из уравнений 4.9 и 4.10, с учетом коэффициента торможения и начальной скорости набора прочности по формуле:

$$\sigma = \frac{\tau \cdot U_0}{1 + \tau \cdot U_0 \cdot K_{tor}} \quad (4.11)$$

где U_0 – начальная скорость;

K_{tor} – коэффициент торможения;

$(\tau/\sigma)_0$ – величина, обратная начальной скорости твердения, сут/МПа;

Основываясь на полученных результатах кинетики набора прочности цемента в контрольном образце и с добавкой (рисунок 4.4, таблица 4.6), выполнен расчет кинетических констант (U_0 ; K_{tor} ; K_{kor} – коэффициент корреляции). Результаты расчета представлены в таблицах 4.7 и 4.8.

Таблица 4.6 – Кинетика твердения портландцемента с использованием добавки МСМ

Количество добавки, %	Прочность на сжатие, МПа					
	1 сут	3 сут	7 сут	14 сут	21 сут	28 сут
Без добавки	38,9	46,0	52,2	56,9	57,6	60,8
5% МСМ	39,6	47,8	53,0	57,2	59,3	63,7

Таблица 4.7 – Результаты расчета по уравнениям теории переноса для портландцемента с использованием рассматриваемой добавки

Количество добавки, %	Значения кинетических констант		
	U_0	K_{tor}	K_{kor}
Без добавки	59,88	0,0167	0,9991
5% МСМ	53,48	0,0155	0,9976

Таблица 4.8 – Расчетные прочности цементного камня

Количество добавки, %	$\sigma_{\text{экспер}}$, МПа	$\sigma_{\text{расч}}$, МПа	Отклонение Δ , МПа	Отклонение Δ , %
Без добавки	60,8	57,82	2,98	4,90
5% МСМ	63,7	61,85	1,85	2,90

В соответствии с применяемой методикой и рассчитанным коэффициентом по уравнению теории переноса была спрогнозирована динамика изменения прочностных характеристик цемента с использованием минеральных добавок на срок до 5 лет (рисунок 4.6) [165].

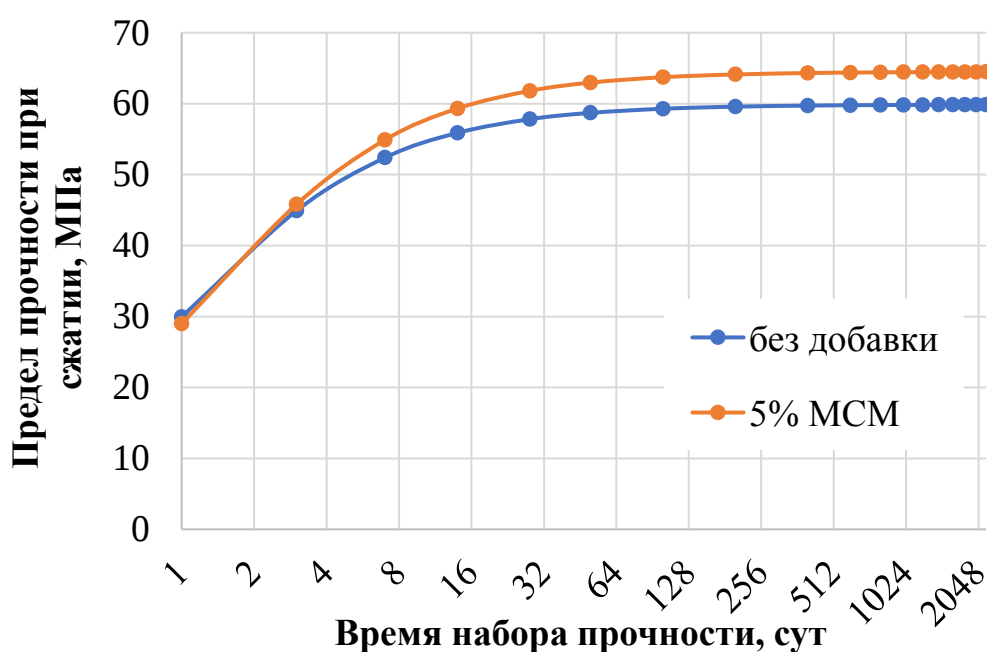


Рисунок 4.6 – Влияние добавки МСМ на прочность цемента

Расчет прочности на длительный срок проводился по формуле 4.10.

Анализ кинетики набора прочности неорганического вяжущего гидратационного типа твердения с использованием в качестве добавки суспензии МСМ, вводимой вместе с водой затворения, показал, что процесс твердения описывается схожими зависимостями. При этом интенсивный рост прочности отмечается по прошествии первых 3 суток, при достижении возраста 200 суток у образцов без добавки и с 5% МСМ практически прекращается прирост прочности, что свидетельствует о затухании процессов гидратации.

4.4 Исследование электропроводящих свойств раствора

Для установления времени изменения значений удельной электрической проводимости смеси, были проведены измерения проводимости образцов цементно-песчаного раствора с различным содержанием добавки МСМ. В стандартную измерительную ячейку размерами ($a \times b \times h$) 100×50×45 мм и объемом 0,23 дм³ помещался образец смеси, измерения проводимости выполнялись от момента затворения до окончания набора прочности.

Результаты наблюдения образцов в течение 28 суток (рисунок 4.7) показали, что включение добавки МСМ увеличивает временные интервалы изменения значений удельной электрической проводимости смеси.

В контрольных образцах без добавки постоянное значение удельной электрической проводимости устанавливается на 4 сутки, в случае добавления МСМ – только на 7–10 сутки (в зависимости от количества добавки). Таким образом, введение МСМ обеспечивает возможность увеличения продолжительности контроля процесса структурообразования строительных материалов на основе минеральных вяжущих, в частности на основе портландцемента.

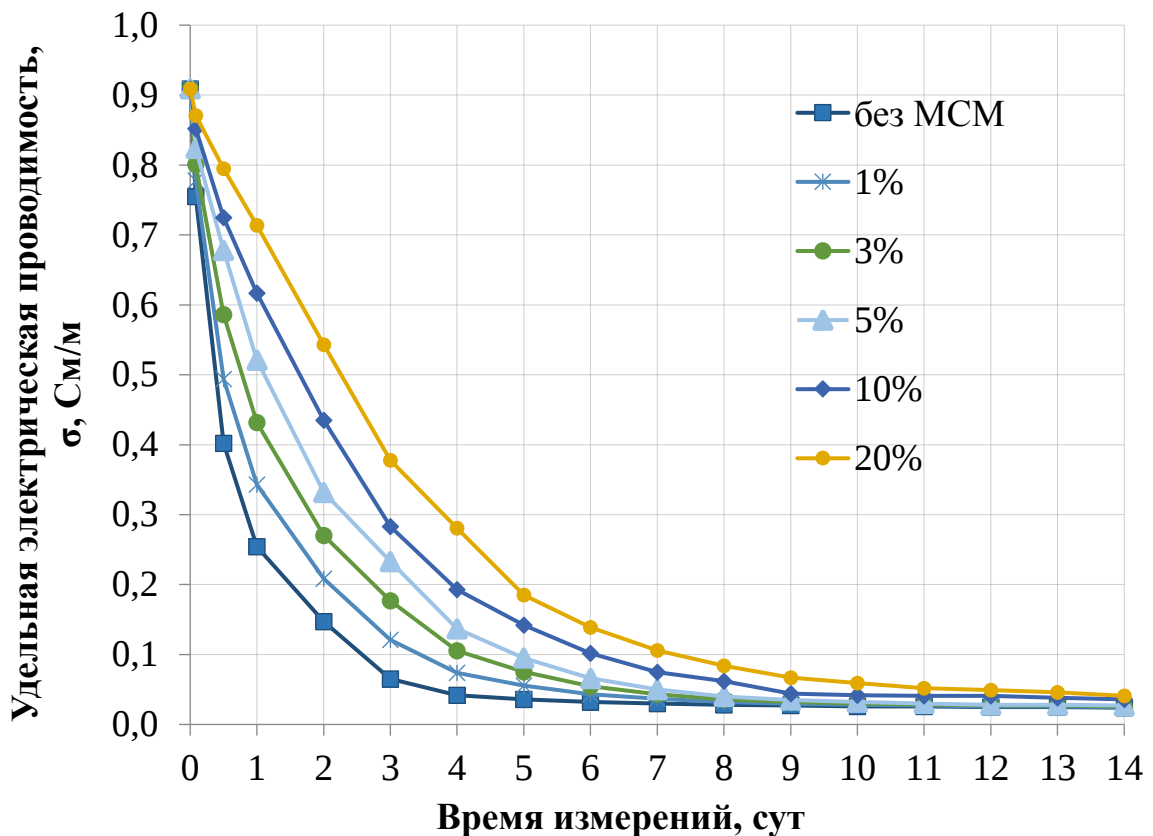


Рисунок 4.7 – Изменение удельной электрической проводимости образцов цементно-песчаного раствора с добавкой МСМ во времени

В сложных электропроводящих системах, которые и представляют собой исследуемые строительные смеси, должна существовать критическая концентрационная область, которая характеризуется переходом значений электропроводности системы от низких к повышенным значениям. В нашем случае наиболее целесообразно определять данный концентрационный порог по концентрационным зависимостям. На рисунке 4.8 представлена зависимость электрической проводимости цементно-песчаного раствора от объемной доли проводящей фазы магнетита (X_m).

Временной период до начала измерений электропроводности составил 4 суток. Это связано с тем, что по истечению указанного временного интервала контролируемый параметр строительного раствора без добавки магнетита достигает минимального и практически постоянного значения.

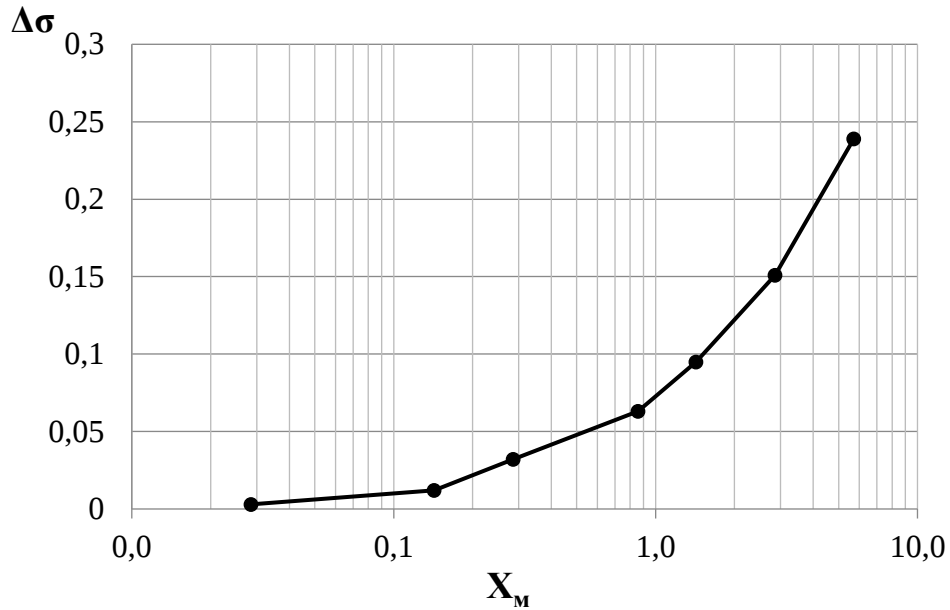


Рисунок 4.8 – Зависимость электрической проводимости цементно-песчаного раствора от объемной доли проводящей фазы магнетита (X_m)

Выявленная функциональная взаимосвязь изменения электрической проводимости ($\Delta\sigma$) цементно-песчаного раствора и объемной доли проводящей фазы магнетита (X_m) позволила установить значительную разницу в величине скорости изменения данной функции. Так, в диапазонах $X_m = 0,05 \div 0,29$ и $X_m > 0,29$ данный параметр соответственно равен 0,11 и 0,04. Таким образом, преодоление порогового значения $X_m = 0,29$ (суспензия с 1% массовой концентрацией магнетита), позволяет минимизировать влияние на электропроводящие свойства возможных погрешностей в приготовлении МСМ.

4.5 Электропроводность как параметр контроля качества

Для оценки возможности использования значений удельной электрической проводимости смеси при контроле сплошности бетонирования, в измерительную ячейку (см. рисунок 2.10) помещались образы цементно-песчаного раствора, при этом часть объема заменялась песком, моделируя вывалы грунта. На практике для оценки сплошности заполнения

раствором всего объема изделия удобнее использовать значения удельного электрического сопротивления (ρ) – величины обратной удельной электрической проводимости. Это обусловлено тем, что в ходе проведения лабораторных исследований грунтов в рамках инженерно-геологических изысканий, выполняемых на каждой строительной площадке, устанавливается коррозионная активность грунтов основания, определяемая по значению удельного электрического сопротивления.

Результаты лабораторных исследований (таблица 4.9) показали, что благодаря сети датчиков возможно установить наличие дефектов в бетонировании, при этом выявлены следующие условия:

- 1) электроды должны быть точечными и располагаться по всей высоте каркаса, обеспечивая возможность измерения между парами электродов в различных направлениях;
- 2) получение аномальных значений проводимости свидетельствует об образовании дефекта;
- 3) для предотвращения повторного нарушения сплошности – устранение дефекта должно вестись под защитой ограждающей конструкции.

Таблица 4.9 – Результаты моделирования дефектов при подземном бетонировании

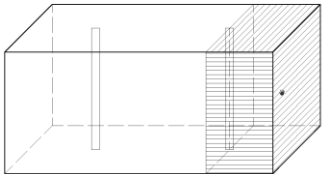
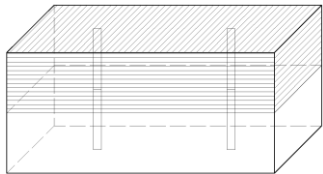
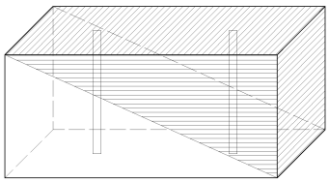
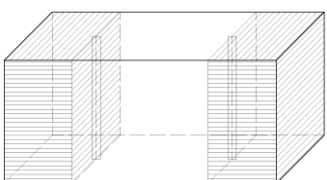
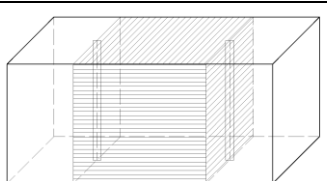
Схема испытаний	Моделируемая ситуация	ρ , Ом·м	Пояснение
	Вывал грунта в тело скважины справа	999,9	Грунт заполняет ячейку по всей высоте, электрод изолирован от смеси
	Вывал грунта при перерыве в бетонировании	3,2	Грунт перекрывает электроды не полностью, есть неизолированная

Схема испытаний	Моделируемая ситуация	ρ , Ом·м	Пояснение
		3,6	токопроводящая среда
	Двусторонний вывал грунта в скважину (образование «шей»)	999,9	Бетон только в центре, нет доступа к поляризующим электродам
	Образование между электродами линзы грунта	452,0	Нарушена проводимость в сети электродов

Основываясь на результатах проведённых лабораторных экспериментов по изучению свойств магнитореологической суспензии магнетита и ее влияния на свойства композиционных материалов, были предложены способы его применения в строительной отрасли, в частности, в устройстве фундаментов и также использование в качестве индикаторной жидкости при оценке макроструктуры изделий в предэксплуатационный период.

4.6 Использование МСМ при контроле сплошности ствола сваи

Контроль степени заполнения определенного объема растворной смесью, путем измерения электрических параметров, лег в основу способа контроля качества ствола изготавливаемой в грунте сваи, где контролирующим параметром является значение электропроводности бетонной смеси. Преимуществом данного метода над существующими (ультразвуковой метод, метод ударного импульса, отбор и испытание керна и т.д.) является возможность выявления и устранения дефектов в ходе бетонирования ствола до твердения смеси.

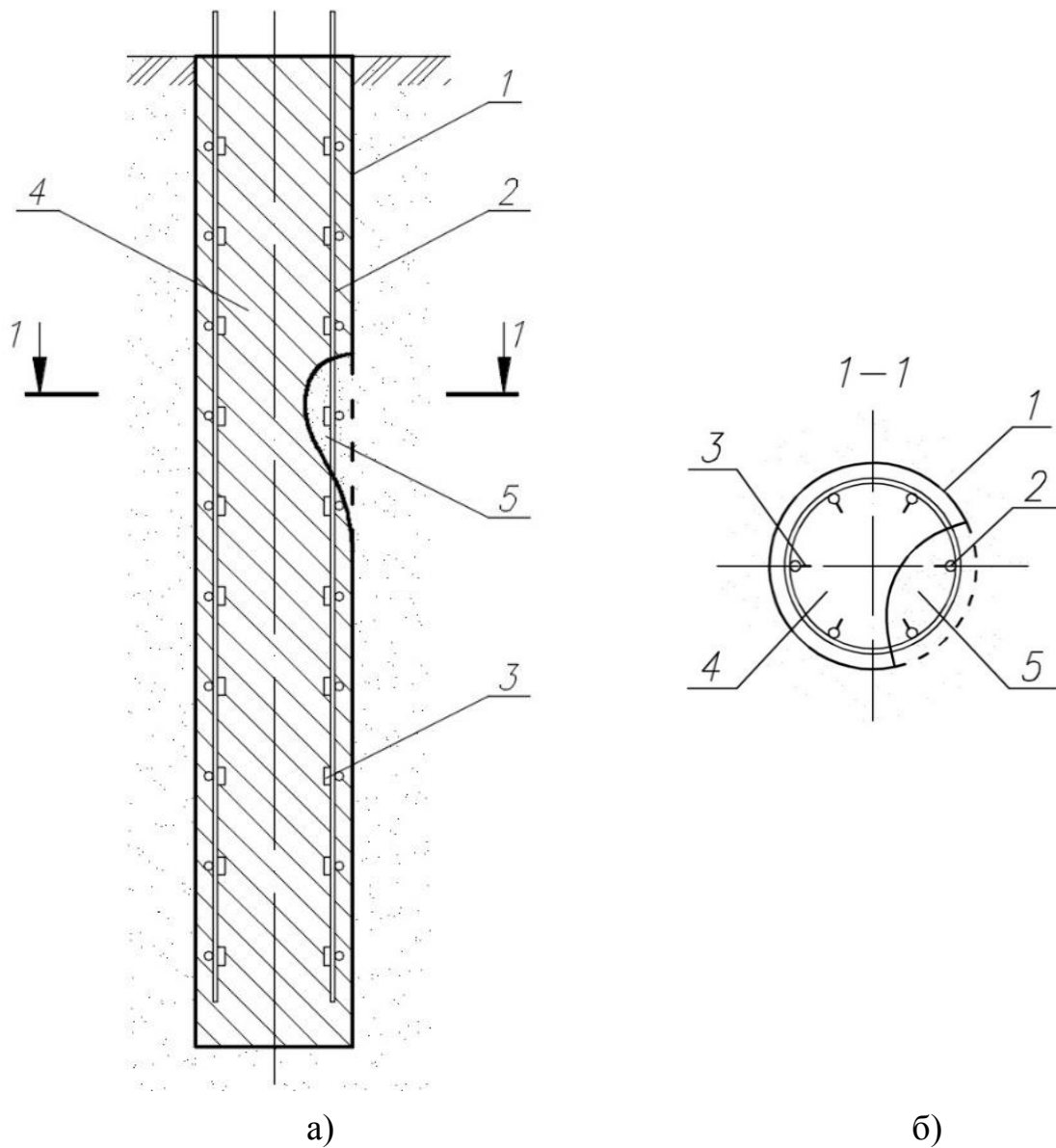
Получение контрастных значений электропроводности смеси в различных геологических и гидрогеологических условиях обеспечивается предварительным определением удельной электрической проводимости грунтов основания. Исходя из полученных значений, в состав бетонной смеси вместе с водой затворения вводится МСМ в количестве, обеспечивающем содержание твердой фазы 1–5% от массы вяжущего.

Сущность метода заключается в следующем.

Для изготовления сваи на строительной площадке формируется скважина, в которую погружается арматурный каркас. Для того чтобы избежать погрешностей измерений каркас выполняется из стеклопластика или покрывается слоем электроизолирующего материала. Предварительно на арматуре устраивается сеть электродов с заданным шагом в поперечном сечении сваи и по высоте. Шаг электродов устанавливается по результатам предварительно измеренных значений удельного электрического сопротивления грунтов, слагающих основание конкретной строительной площадки, а также отверждаемого состава, исходя из условия нахождения максимального расстояния, обеспечивающего прохождение электрического сигнала через слой смеси.

По мере заполнения скважины отверждаемым составом выполняется измерение удельного электрического сопротивления между смежными электродами в разных направлениях. Зафиксированные отклоняющиеся значения свидетельствуют о нарушении сплошности заполнения, то есть о наличии дефектов: вывалы грунта, пережимы ствола (рисунок 4.9).

В виду того, что обнаружение дефекта происходит сразу после заливки, пока состав не затвердел, возможно его устранение. Для этого вдоль ствола сваи на нужную глубину погружается обсадная труба, отверждаемый состав откачивают и сохраняют его для повторной подачи в скважину. Дефект устраняют, например, путем вымывания грунта и откачиванием из скважины образовавшейся пульпы. Откачку ведут до глубины, на которой значение электропроводности являются характерными для отверждаемого состава.



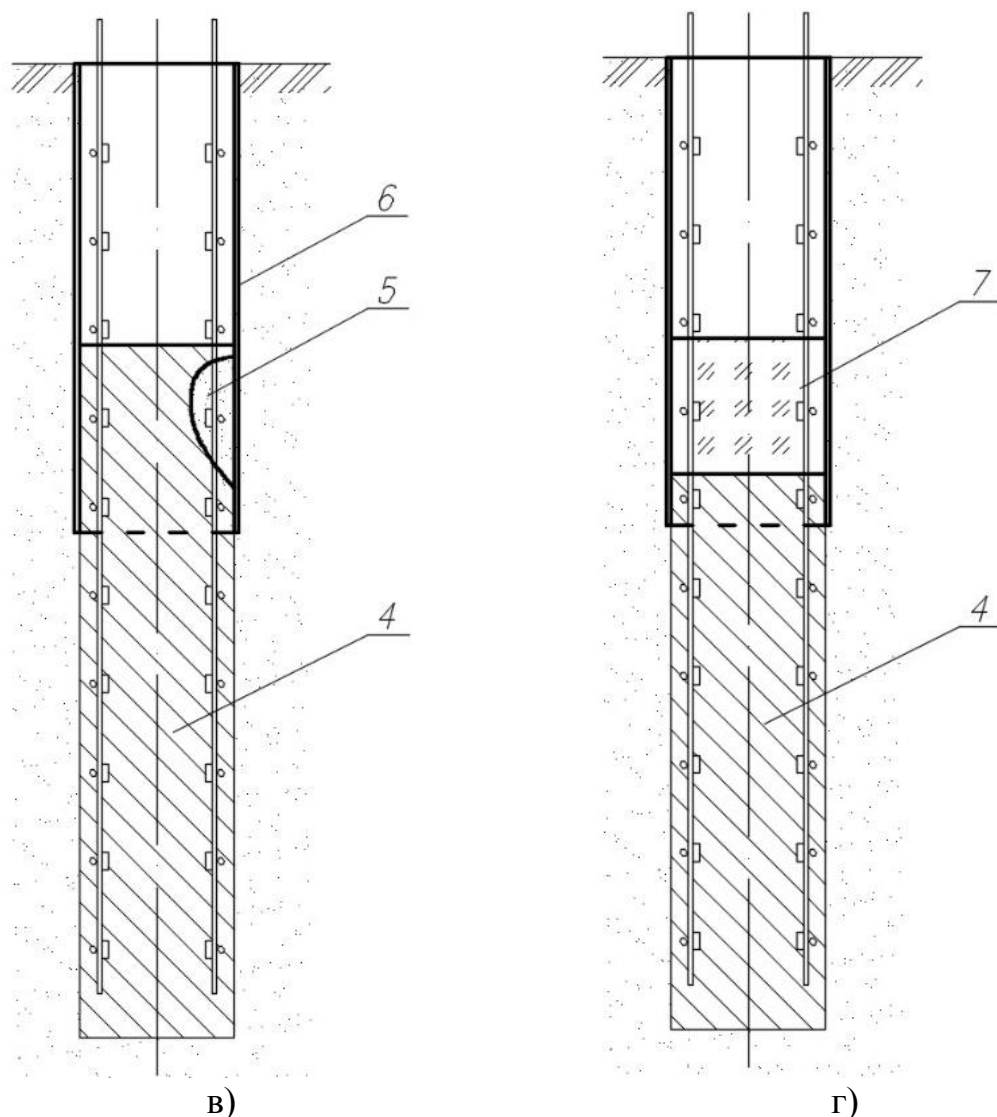
1 – скважина; 2 – арматурный каркас; 3 – электроды;
4 – отверждаемый состав; 5 – дефект

Рисунок 4.9 – Образование дефекта ствола сваи:

а) вертикальный разрез; б) горизонтальный разрез

При высоте бетонируемой конструкции более 5 метров допускаются перерывы в бетонировании от 40 мин до 2-х часов, устанавливаемые для каждого конкретного объекта в проекте производства работ [172]. В связи с этим продолжительность устранения дефектов не должна превышать установленного времени.

После восстановления целостности изделия верхнюю часть повторно заполняют смесью, добавив необходимый объем для заполнения всей скважины, и извлекают обсадную трубу (рисунок 4.10).



1 – скважина; 2 – арматурный каркас; 3 – электроды;
4 – отверждаемый состав; 5 – дефект; 6 – обсадная труба; 7 – пульпа

Рисунок 4.10 – Устранение дефекта бетонирования:

а) вертикальный разрез сваи с дефектом; б) горизонтальный разрез сваи с дефектом; в) погружение обсадной трубы; г) вымывание грунта

Предлагаемый способ позволяет определить наличие, положение и размеры дефектов изготавливаемой в грунте сваи, а также устранить

выявленные дефекты без снижения качества отверждаемого состава на смежных бездефектных участках ствола.

Применение предлагаемого способа возможно не только при изготовлении отдельно стоящих свай, но также при возведении защитных сооружений по технологии «стена в грунте».

4.7 Компонент инъекционной смеси для закрепления бутовой кладки фундаментов

Получение контрастных значений удельной электрической проводимости отверждаемого состава и грунтов легло в основу способа усиления бутового фундамента. Как правило, восстановление несущей способности фундамента выполняется путем закрепления кладки цементными и цементно-песчаными растворами, при этом степень заполнения пустот кладки оценивается по объему закаченного раствора. Данный метод имеет существенный недостаток, проявляющийся в возможном вытекании раствора из тела фундамента в слабо уплотненный грунт, подземные коммуникации и т.д.

Добавление в состав растворной смеси магнитореологической суспензии магнетита приводит к изменению электропроводящих свойств материала. Основываясь на полученных результатах, был предложен способ усиления бутового фундамента, особенностью которого является осуществление контроля за степенью заполнения швов кладки, путем измерения электрического сопротивления. Таким образом, в процессе производства работ возможно повысить надежность инъекционного закрепления фундамента.

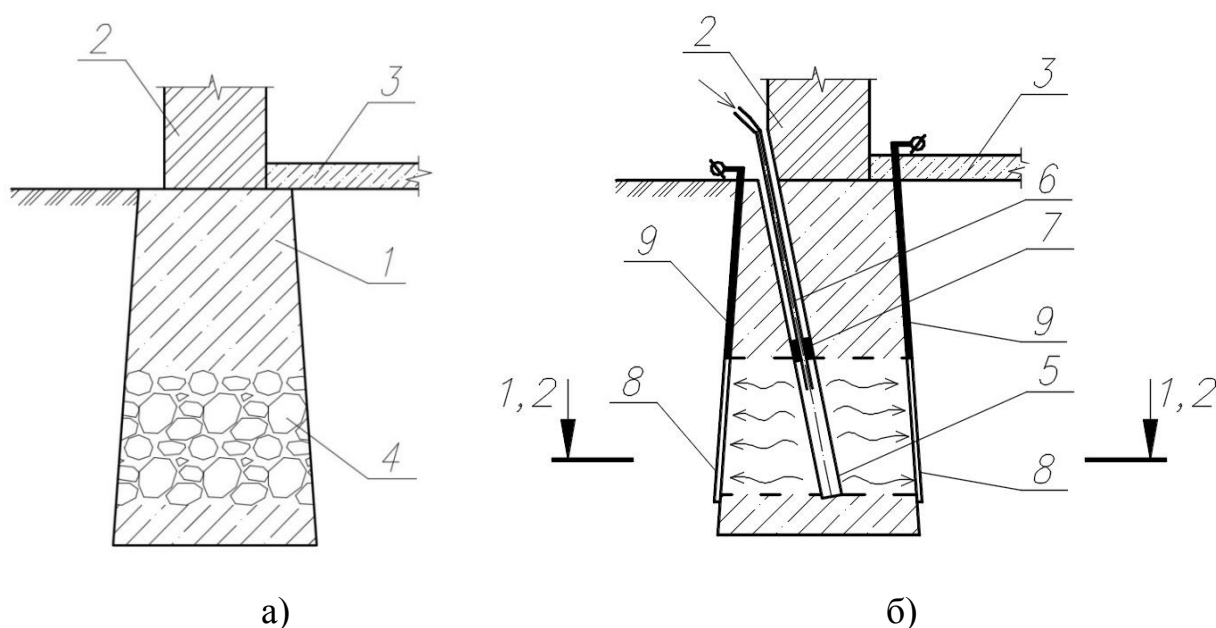
Осуществление данного способа заключается в следующей последовательности:

1. В теле фундамента определяются участки требующие закрепления бутовой кладки (рисунок 4.11 а);

2. Пробурируется скважина с наружной стороны стены здания или с перекрытия до нижней границы ослабленной зоны;

3. В скважину устанавливается иньектор, покрытый электроизоляционным материалом;

4. С двух сторон от закрепляемого участка фундамента, а также в ранее пробуренную скважину (при наличии) погружаются электроды (рисунок 4.11 б);



1 – фундамент; 2 – кирпичная стена; 3 – перекрытие; 4 – закрепляемый участок бутовой кладки; 5 – скважина; 6 – иньектор; 7 – пакер; 8 – электроды; 9 – электроизолирующий материал

Рисунок 4.11 – Вертикальный разрез фундамента:

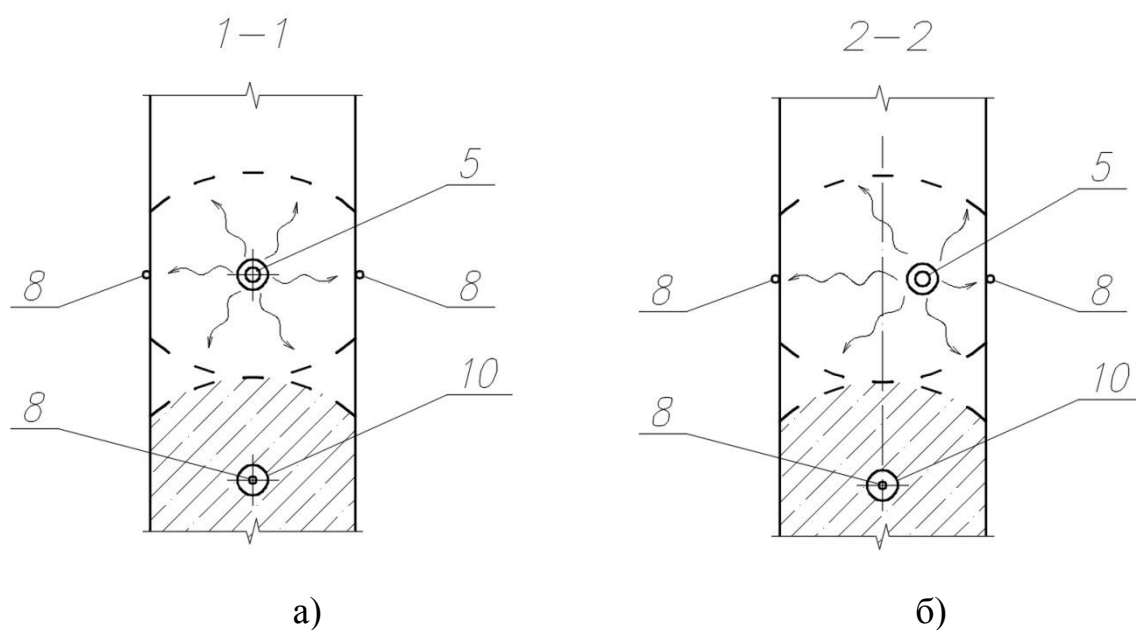
а) до начала работ; б) в ходе выполнения работ

5. Готовится растворная смесь с добавкой магнитореологической суспензии;

6. Смесь нагнетается в тело фундамента, параллельно с этим осуществляется контроль за степенью заполнения швов, путем измерения электрического сопротивления тела фундамента (рисунок 4.12);

7. Раствор подается до тех пор, пока значения электрического сопротивления не достигнут постоянного значения, за счет заполнения швов кладки, и раствор начнет выходить на поверхность фундамента;

8. После достижения постоянных значений электроды извлекаются из скважин и переносятся на следующую захватку.



5 – скважина; 8 – электроды; 10 – смежная скважина

**Рисунок 4.12 – Горизонтальный разрез фундамента
в ходе выполнения работ:**

а) при расположении скважин вдоль оси; б) при смещении скважин от оси

Таким образом, в процессе производства работ возможно повысить надежность инъекционного закрепления, обеспечив полноту заполнения швов кладки.

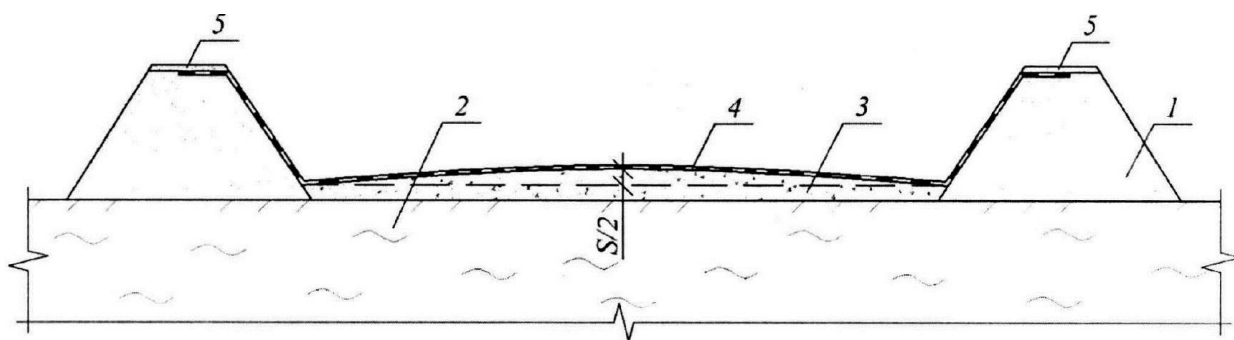
4.8 Индикаторная жидкость для осуществления контроля за герметичностью

Применение МСМ для контроля качества строительных изделий весьма актуально в случае возведения накопителя отходов на сильно деформируемом основании, когда защитный экран в накопителе токсичных

отходов выполняется из рулонных материалов. При возведении накопителя отходов на сильнодеформируемых грунтах в процессе его эксплуатации в основании будут возникать значительные осадки, что может стать причиной разрывов мембран и привести к протечкам. Для предотвращения такой возможности, был разработан способ устройства накопителя с предварительной подготовкой основания и контролем герметичности, основанном на применении индикаторной жидкости.

Первым этапом производства работ по устройству сооружения является возведение ограждающих дамб, после чего дно накопителя планируется дренирующим слоем грунта. Планировку выполняют уступами таким образом, чтобы обеспечить уклон от центра к периферии. Отметка поверхности дренирующего слоя в центре должна превышать отметку на периферии на величину $S/2$, где S – прогнозируемая разность осадки основания в центре и на периферии накопителя.

Второй этап заключается в устройстве гидроизоляции основания и боковых откосов накопителя, путем укладки мембран и их фиксации пригрузочным слоем по верху ограждающих дамб (рисунок 4.13).

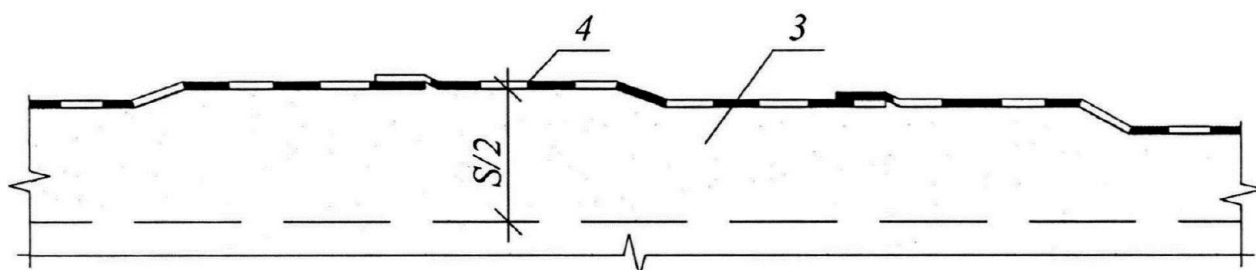


1 – ограждающая дамба; 2 – деформируемое основание; 3 – дренирующий грунт; 4 – геомембрана; 5 – пригрузочный слой

Рисунок 4.13 – Планировка основания накопителя и устройство мембраны

При укладке полотнищ геомембраны их стыковка выполняется ближе к середине уступов, где под нагрузкой стыки будут плотно прижаты к подстилающему материалу и не станут перемещаться из исходного

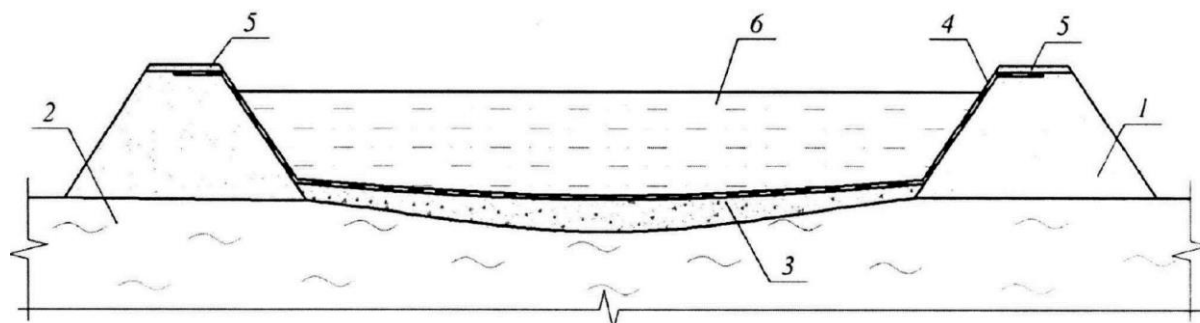
положения (рисунок 4.14). Небольшие неровности в геомембране будут возникать лишь на откосах, разделяющих уступы. По мере развития осадки основания эти неровности будут расправляться.



3 – дренирующий грунт; 4 – геомембрана;

Рисунок 4.14 – Стыковка полотенц геомембраны

После завершения работ по устройству гидроизоляции, чашу накопителя заполняют жидкостью, которая служит для создания нагрузки p на основание. В зависимости от необходимого значения нагрузки накопитель может заполняться водой или глинистым раствором заданной плотности (рисунок 4.15). При этом необходимо выполнение условия 4.10.



1 – ограждающая дамба; 2 – деформируемое основание; 3 – дренирующий грунт; 4 – геомембрана; 5 – пригрузочный слой; 6 – жидкость

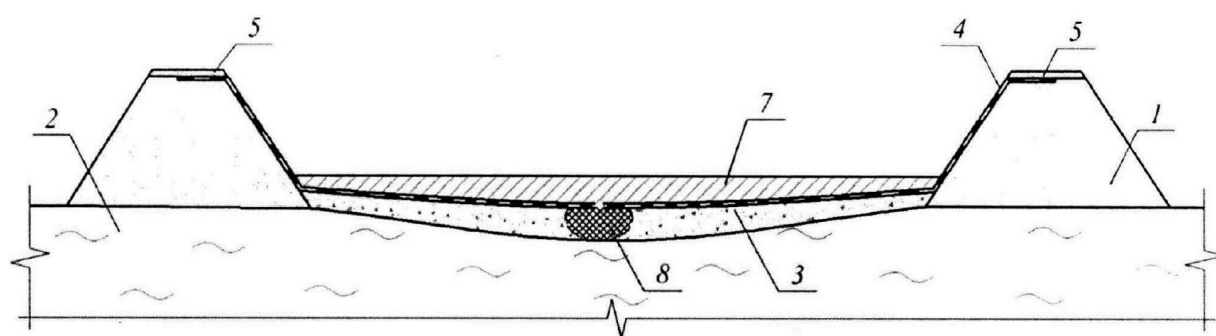
Рисунок 4.15 – Предварительная загрузка накопителя

$$p \geq \sigma \quad (4.10)$$

где σ – предполагаемая нагрузка на основание от складированных отходов.

До начала следующей операции делают технологический перерыв, необходимый для завершения консолидации грунтов основания.

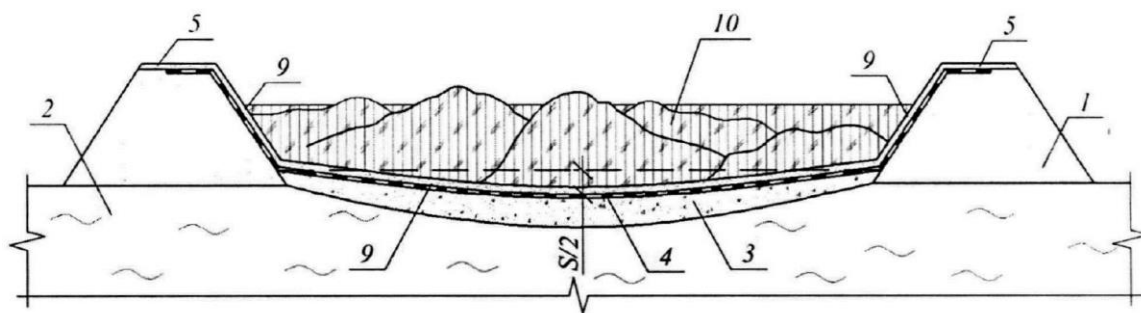
Третий этап работ начинается с откачки жидкости из чаши накопителя. После того как чаша накопителя становится пустой, приступают к проверке герметичности геомембраны. В накопитель подают индикаторную жидкость, в роли которой может быть применена магнитореологическая суспензия магнетита, и после выдержки откачивают ее. Возможный осадок дисперсной фазы, оставшийся после выдерживания индикаторной жидкости, необходимо смыть с поверхности экрана, для предотвращения погрешностей измерений. После чего выполняют магнитометрическую съемку основания для выявления наличия и местоположения дефектов. Утечки индикаторной жидкости приводят к отклонениям показателей сканирующих приборов (рисунок 4.16).



1 – ограждающая дамба; 2 – деформируемое основание; 3 – дренирующий грунт; 4 – геомембрана; 5 – пригрузочный слой; 7 – индикаторная жидкость;
8 – утечка

Рисунок 4.16 – Осуществление контроля герметичности

После устранения дефектов геомембраны, поверх нее отсыпают защитный слой, необходимый для предотвращения разрывов защитного экрана при загрузке отходов в накопитель для складирования. Только после устранения всех деформаций и завершении планировочных работ начинают эксплуатацию накопителя (рисунок 4.17).



1 – ограждающая дамба; 2 – деформируемое основание; 3 – дренажирующий грунт; 4 – геомембрана; 5 – пригрузочный слой; 9 – защитный слой;
10 – складированные отходы

Рисунок 4.17 – Эксплуатация накопителя

Предложенный способ контроля позволит обеспечить герметичность экрана и контроль его целостности, повышая тем самым эксплуатационную надежность накопителя.

4.9 Выводы

1. В ходе проведенного исследования электропроводящих свойств магнитореологической суспензии магнетита было установлено, что электропроводность суспензии обуславливается образованием мицелл из частиц коллоидной степени дисперсности. В связи с этим для получения прогнозируемо изменяемых значений удельной электрической проводимости следует использовать суспензии с концентраций дисперсной фазы не менее 1%.

2. Оценка свойств цементно-песчаного раствора с добавкой МСМ показала, что при концентрации добавки, обеспечивающей содержание дисперсной фазы в количестве от 1 до 10% по массе вяжущего, обеспечивается сходимость результатов физико-механических и деформационных свойств между сериями образцов.

3. Анализ влияния добавки магнетита на структурообразование цементного камня показал, что в системе «вода-цемент-магнетит» добавка проявляет свойства тонкодисперсного наполнителя, не взаимодействующего

с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и не обладающего пуццолановой активностью, при этом также обеспечивается сохранение прочностных характеристик.

4. Исследование электропроводящих свойств раствора, содержащего МСМ позволило установить, что введение добавки способствует увеличению временных параметров применения методов контроля, основанных на измерении удельного электрического сопротивления. Установлено, что при концентрации МСМ 1-5% значения электропроводности растворной смеси в течение первых суток увеличиваются до 3-х раз.

5. Доказана применимость методов контроля, основанных на различии значений удельного электрического сопротивления грунтов основания и отверждаемого состава.

6. Увеличение электропроводящих свойств строительных растворов при использовании добавки МСМ позволил разработать способы контроля качества изготовления бутового фундамента и буронабивных свай, проводимого непосредственно в процессе бетонирования, а также способ контроля герметичности защитного экрана накопителя отходов.

5 ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательской деятельности кафедры композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы САФУ имени М.В. Ломоносова. Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы использованы при подготовке специалистов по специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений», а также бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

5.1 Техничко-экономическое обоснование разработанных методов контроля качества изделий

Существующей нормативной базой регламентируются и рекомендуются к применению способы контроля качества, позволяющие установить сплошность ствола изготавливаемой в грунте сваи (таблица 5.1). При этом возможно выполнение как сплошного, так и выборочного контроля. Проведение выборочного контроля допускается, если при выполнении сплошного контроля у 20% свай не выявлено нарушений. В этом случае дальнейший объем работ устанавливается по согласованию с заказчиком [173].

Расчет стоимости испытаний при устройстве свайного поля из 100 свай представлен в таблице 5.1. При этом рассмотрены две наиболее популярные схемы выполнения испытаний:

- отбор керна + сейсмоакустические испытания;
- отбор керна + ультразвуковые испытания.

В случае расчета стоимости работ при реализации выборочного контроля приняты наименьшие из возможных объемов работ.

Таблица 5.1 – Расчет стоимости испытаний

№	Метод	Объем работ, %		Стоимость испытания, руб.	Стоимость работ на 100 свай, руб.	
		При сплошном контроле	При выборочном контроле		При сплошном контроле	При выборочном контроле
1	Выбуривание кернов на полную длину	2 (но не менее 2-х свай)		9 500	19 000	19 000
1.1	Испытание керна на одноосное сжатие	Не менее трех кернов из одной свай		1 750	10 500	10 500
2	Сейсмоакустический метод	100	20	5 500	550 000	110 000
3	Радиоизотопный или ультразвуковой метод	100	10	14 000	1 400 000	140 000
Итоговая стоимость при использовании сейсмоакустического метода					579 500	139 500
Итоговая стоимость при использовании ультразвукового метода					1 429 500	169 500

При этом следует учитывать, что проведение испытаний по стандартным методикам возможно только по истечении 28 суток с момента заливки сваи, после окончательного набора прочности бетоном, что приводит к значительному увеличению продолжительности строительства, а также к необходимости дополнительной аренды дорогостоящего оборудования.

В случае обнаружения дефекта у изготовленной сваи, для обеспечения проектной передачи нагрузки на основание необходимо устройство свай дублеров, что увеличивает стоимость строительства пропорционально количеству дублирующих свай.

Для оценки объема дополнительных затрат на устройство свайного фундамента по предлагаемой методике был выполнен локальный сметный расчет в базисных ценах на устройство свайного поля из 100 буронабивных свай длиной 10 м, диаметром 600 мм по стандартной технологии и по предлагаемой методике (Приложение В).

Сметная стоимость работ определялась по формуле:

$$C = ПЗ + НР + C_{пр} \quad (5.1)$$

C – сметная стоимость, руб.;

$ПЗ$ – прямые затраты (материалы, машины и оборудование, оплата труда рабочих), руб.;

$НР$ – накладные расходы, руб.;

$C_{пр}$ – сметная прибыль, руб.

Результаты расчета показали, что применение предлагаемого метода приводит к увеличению затрат на производство работ на 20%, по сравнению со стандартной методикой. При этом наибольший объем затрат связан с увеличением расходов на материалы. В связи с этим была произведена дополнительная оценка стоимости удорожающих материалов в текущих ценах (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Стоимость дополнительных материалов на устройство буронабивной сваи длиной 10 м и диаметром 60 мм

№	Материал	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость ед., руб	Общая стоимость, руб
Материалы, удорожающие стоимость работ					
1	Магнитореологическая суспензия магнетита (5% по массе цемента), <i>в том числе стоимость сырьевого материала</i>	кг	22	210,00 <i>160,00</i>	4620,00 <i>3520, 00</i>
2	Электроды	шт	60	52,50	3150,00
3	Линии связи (двужильный провод 2х0,75)	50,0 м	5,7	1158,00	6600,60
Материалы, снижающие стоимость					
4	Композитная арматура (АРМПЛАСТ)	м	63	30,19	1901,97
Итого:					16272,57

При устройстве аналогичной сваи по стандартной технологии устраивается арматурный каркас из стали, стоимость которого в уровне среднерыночных цен, при аналогичной густоте армирования (6 продольных стержня диаметром 14 мм А500С, 20 поперечных хомутов диаметром 6 мм стержня А500С), составит 8906,59 руб. Таким образом, удорожание устройства одной сваи за счет повышения расходов на материалы составит 7365,98 руб. Стоимость работ на производство испытаний на стадии разработки методики не известна. Однако технологический цикл данного вида работ сопоставим с измерениями удельной электрической проводимости грунтов полевым методом, в связи с этим на предварительном этапе оценки стоимость испытаний одной сваи составит 2600 руб.

Таким образом, общая стоимость работ в ценах на текущий год составит 9965,98 руб., что дешевле ультразвуковой дефектоскопии на 30 %.

Предлагаемый метод, также, как и существующие, может быть реализован как при сплошном контроле качества буронабивных свай, так и при выборочном. Объем работ при выполнении испытаний определяется в соответствии с СП 45.13330.2017 [173] в зависимости от технического задания на проведение испытаний.

Технико-экономическая эффективность метода усиления бутовой кладки фундамента обусловлена значительным сокращением объемов работ. При инъекционном усилении тела фундамента восстановление несущей способности обеспечивается за счет заполнения швов и пустот кладки инъекционным раствором. Заполнение может производиться различными способами, имеющими существенные недостатки (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Методы контроля степени заполнения швов

№	Метод	Недостаток
1	Сравнение планируемого и фактического расхода инъекционной смеси	Возможно вытекание смеси в полости за пределами фундамента, дренажные системы, а также вымывание раствора
2	Откопка шурфов и визуальный осмотр	Предполагают большой объем работ, при этом позволяют оценить качество заполнения только по наружной поверхности
3	Отбор керна и испытание монолитов	Дорогостоящие испытания, позволяющие оценить качество выполненных работ после окончания набора прочности раствором

Предлагаемый метод контроля степени заполнения швов бутовой кладки фундамента, производимый путем измерения удельного электрического сопротивления тела фундамента, позволяет значительно сократить сроки и объемы выполнения работ за счет осуществления измерений в процессе

производства работ. Помимо этого, предлагаемый метод позволяет производить точный контроль за целевым расходом инъекционного раствора.

Реализация метода контроля сплошности защитного экрана накопителя направлена в первую очередь на повышение эксплуатационной надежности и предполагает социально-экологический эффект.

5.2 Внедрение результатов исследований

Апробация результатов научного исследования была проведена на предприятии ООО «Юбилейное», г. Архангельск, где при устройстве буронабивной сваи использовался разработанный метод контроля сплошности бетонирования ствола. Технологическая схема описана в главе 4 диссертации, схематичное представление поэтапного производства работ приведено на рисунке 5.1

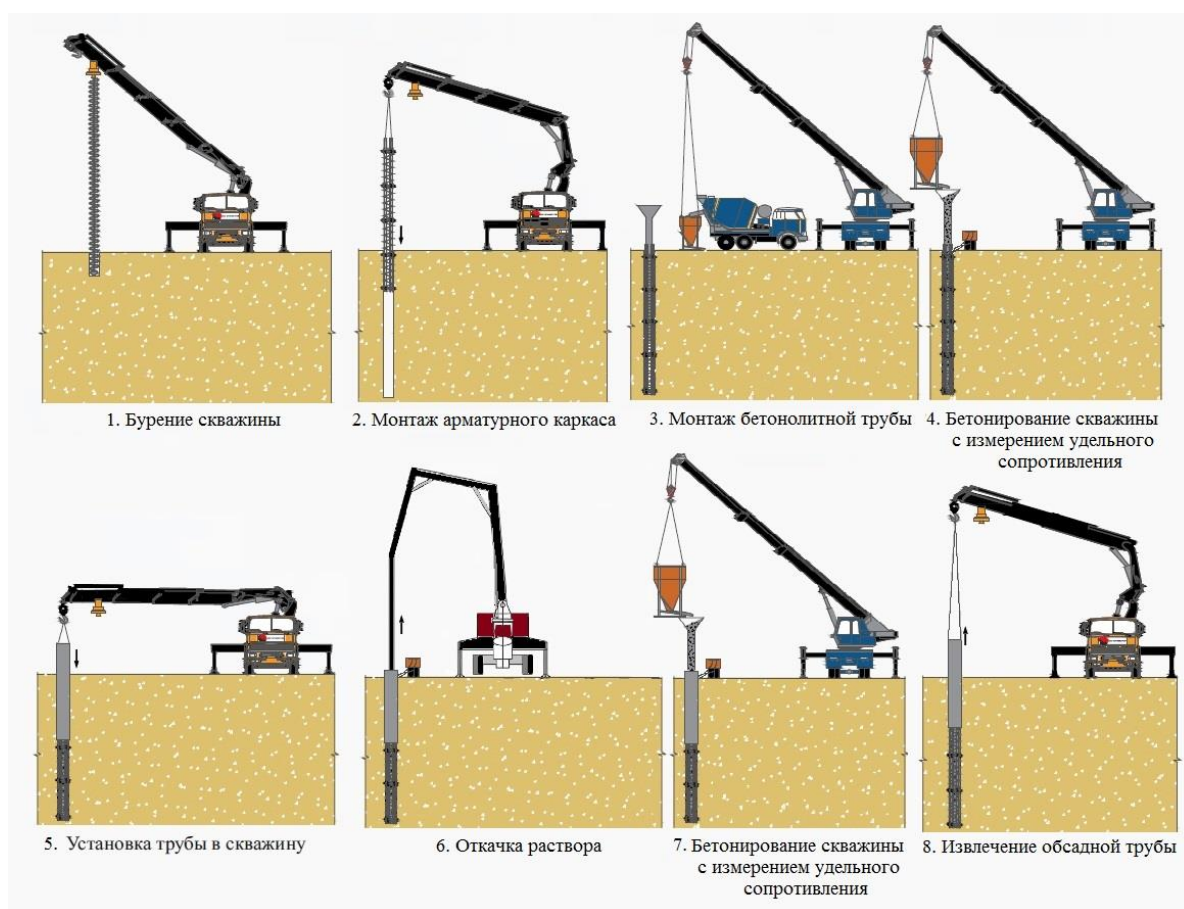


Рисунок 5.1 – Технологическая карта устройства буронабивной сваи

По результатам испытаний составлено заключение об обследовании ствола сваи (приложение Г), свидетельствующее об отсутствии дефектов в бетонировании.

5.3 Разработка нормативной документации на производство магнитореологической суспензии магнетита и ее применение для контроля качества изделий

Для внедрения результатов работы при реализации методов контроля качества строительных изделий, основанных на применении магнитореологической суспензии магнетита, разработаны следующие технические документы:

- технический регламент на выявление и устранение дефектов буронабивной сваи (см. приложение Д);
- стандарт организации СТО 01-12.7-2021 «Магнитореологическая суспензия магнетита. Технические условия» (см. приложение Е).

Научная новизна предлагаемых решений подтверждена следующими объектами интеллектуальной собственности (см. приложение Ж):

1. Пат. № 2642760 РФ. МПК E02D 33/00 (2006.01) Способ выявления и устранения дефектов изготавливаемой в грунте сваи / Авдушева М.А., Невзоров А.Л., Айзенштадт А.М. // № 2017112617; заявл. 12.04.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. №3. 9 с.
2. Пат. № 2642762 РФ. МПК E02D 27/08 (2006.01) Способ усиления фундамента / Авдушева М.А., Невзоров А.Л., Айзенштадт А.М. // № 2017107922; заявл. 10.03.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. №3. 7 с.
3. Пат. № 2642977 РФ. МПК G01L9/02 (2006.01) Датчик для измерения нормальных напряжений в грунтах / Авдушева М.А., Невзоров А.Л. // № 2017112681; заявл. 12.04.2017; опубл. 29.01.2018, Бюл. №4. 8 с.
4. Пат. № 2611167 РФ. МПК E02B 3/16 (2006.01) Способ создания накопителя токсичных отходов на сильно деформируемом основании /

Невзоров А.Л., Авдушева М.А., Кузяков Н.Ю., Хабаров Ю.Г. // № 201553930; заявл. 15.12.2015; опубл. 21.02.2017, Бюл. №6. 11 с.

5.4 Выводы

1. Сравнение сметной стоимости работ на устройство свайного поля из буронабивных свай показало, что применение предлагаемого метода контроля сплошности изготавливаемой в грунте сваи удорожает общий объем работ не более чем на 20%. При этом отсутствует необходимость дополнительных работ по контролю качества (ультразвуковой, акустический), приводящих к значительному увеличению продолжительности производства работ (на 28 суток, до полного набора прочности бетона), а также к необходимости устройства дублирующих свай.

2. Оценка экономической эффективности предлагаемого метода показала, что затраты, связанные с покупкой дополнительных материалов, в 2 раза меньше, чем стоимость ультразвуковых испытаний. Таким образом, суммарная стоимость затрат на реализацию предлагаемого метода контроля (с учетом стоимости испытаний) на 30% меньше, чем при ультразвуковой дефектоскопии.

3. Апробация предлагаемого метода контроля сплошности буронабивной сваи была проведена на предприятии ООО «Юбилейное», г. Архангельск.

4. Для использования результатов, полученных в ходе диссертационного исследования, утверждены документы технического и нормативного характера:

- технический регламент на выявление и устранение дефектов буронабивной сваи;
- стандарт организации СТО 01-12.7-2021 «Магнитореологическая суспензия магнетита. Технические условия».

5. Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований и промышленной апробации используются в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»; бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство»; магистров по направлению 08.04.01 «Строительство».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования. Разработаны научно обоснованные технологические решения, направленные на контроль качества изготовления и оценку эксплуатационного состояния строительных материалов и изделий, заключающиеся в использовании водной суспензии частиц магнетита как индикаторной жидкости, сравнительная оценка электропроводящих свойств которой служит основным информационным параметром в разработанных методах контроля. Применение агрегативно устойчивой магнитореологической суспензии магнетита (МСМ) в составе строительной смеси в качестве добавки позволяет проводить оценку степени заполнения раствором бутового фундамента и сплошности ствола буронабивных свай в процессе бетонирования. Использование МСМ как самостоятельной индикаторной системы положено в основу метода контроля герметичности экрана накопителя отходов.

Выявлен эффект и функциональный характер увеличения электропроводности растворной смеси, содержащей в качестве добавки магнитореологическую индикаторную жидкость. Определены рациональные концентрационные диапазоны: для суспензии – предельная концентрация частиц твердой фазы для сохранения агрегативной устойчивости – не более 50 %, при этом до 85% частиц твердой фазы должны иметь размеры менее 1 мкм; для бетонного раствора – содержание твердой фазы индикаторной суспензии, не вызывающее изменений физико-механических свойств растворной смеси и бетона на ее основе и обеспечивающее требуемые электропроводящие свойства бетона – 1–5% от массы вяжущего. Данные диапазоны позволяют увеличить значение электропроводности растворной смеси в течение первых суток после введения МСМ до 3-х раз. Эффект усиления электропроводящих свойств строительных растворов при использовании добавки МСМ результативно использован при разработке

способа контроля качества изготовления бутового фундамента и буронабивных свай, проводимого непосредственно в процессе бетонирования.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования магнитореологической суспензии магнетита для оценки степени дефектности (нарушение герметичности, целостности) макроструктуры строительных изделий в предэксплуатационный период. Установлено, что основным параметром индикаторной системы, определяющим ее успешное применение, является агрегативная устойчивость суспензии магнетита, определяемая величиной рН дисперсионной среды ($\text{pH} > 7$) и значением дзета-потенциала частиц твердой фазы (-29 ± 7 мВ). Применение МСМ с массовым содержанием частиц твердой фазы до 10% позволяет фиксировать наличие макродефектов в защитном экране накопителя токсичных отходов. Схема определения качества рулонных покрытий в основании накопителя основывается на применении МСМ в качестве индикаторной жидкости, позволяющей обнаружить и устранить дефекты защитного экрана до начала эксплуатации.

На основе результатов проведенных исследований разработаны технологические рекомендации, которые послужили основанием для практического использования полученной магнитореологической суспензии магнетита в производстве строительных материалов и изделий. Получены патенты на изобретения, разработаны нормативные документы: стандарт организации СТО 01-12.7-2021 «Магнитореологическая суспензия магнетита. Технические условия»; технический регламент на выявление и устранение дефектов буронабивной сваи.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы могут быть **рекомендованы** для внедрения на строительных площадках в процессах подземного бетонирования, на промышленных предприятиях, эксплуатирующих накопители отходов, а также могут быть использованы при подготовке специалистов по специальности «Строительство уникальных

зданий и сооружений», бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

Перспективы дальнейших исследований целесообразно рассмотреть в следующих направлениях: расширение спектра применяемого сырья для создания магнитовосприимчивой суспензии, в части получения механоактивированной тонкодисперсной фазы из других магнитовосприимчивых материалов, определение факторов, способствующих их устойчивости; изучение продолжительности сохранения электропроводящих свойств предварительно намагниченного коллоидно-дисперсного магнитореологического материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458>
2. Управление Федеральной службы государственной статистики по Архангельской области и Ненецкому автономному округу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arhangelskstat.gks.ru/construction11>
3. Министерство иностранных дел Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mid.ru/ru/maps/ru/ru-ark/-/asset_publisher/Qlt11PqJMZZL/content/id/2609788
4. Российская Федерация. Законы. Градостроительный кодекс Российской Федерации: от 29.12.2004 года № 190-ФЗ (ред. от 02.07.2021): ввод в действие с 01.09.2021 / Российская Федерация. Законы. – Москва: Либрис, 2021. — 365 с.
5. СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства: актуализированная редакция СНиП 12-01-2004: утвержден Минстроем России 24.12.2019 № 861: введен 25.06.2020. – Москва : ФГУП ЦПП, 2020 – 70 с.
6. Пушин, К. Н. Методы контроля качества продукции на участке входного контроля предприятия радиотехнического профиля / К. Н. Пушин // Инноватика-2017: Сборник материалов XIII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: ООО "СТТ", 2017. – С. 291-294.
7. Подмазова, С.А. Входной контроль качества бетона на месте строительства / С. А. Подмазова, Б. С. Соколов, М. В. Глушкова, Н. С. Дмитриев, А. Г. Бублиевский // Технологии бетонов. – 2020. – № 3-4(164-165). – С. 46-49.
8. Tattersall, G.H. Workability and quality control of concrete. – CRC Press. – 2019. – 272 p.

9. Горицкий, В. М. К вопросу о входном контроле в строительстве / В. М. Горицкий, Г. Р. Шнейдеров, С. Н. Воробьев, А. М. Кулемин // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 4. – С. 30-31.
10. Рапопорт, А. Г. Входной контроль качества в строительстве / А. Г. Рапопорт, В. И. Сусов // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 9. – С. 69-70.
11. Lapidus, A. Construction supervision at the facilities renovation / A. Lapidus, D. Topchiy // Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018): E3S Web of Conferences. – Vol. 91. – p. 08044.
12. Федюк, К. В. Сдача-приемка скрытых работ: основные проблемы, с которыми сталкивается подрядчик / К. В. Федюк // Сметно-договорная работа в строительстве. – 2019. – № 5. – С. 33-35.
13. Чуркин, А. А. Комплексное исследование качества буронабивных свай на опытной площадке с использованием методов неразрушающего контроля / А. А. Чуркин, И. Н. Лозовский, В. Э. Фролов, Ю. Н. Бровиков // Геотехника. – 2018. – Т. 10. – № 5-6. – С. 72-83.
14. Баулин, А. В. Строительный контроль в процессе сдачи объекта в эксплуатацию / А. В. Баулин, А. С. Перунов, В. А. Ермаков // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 1. – С. 53-59.
15. Логанина, В. И. Статистический приемочный контроль качества лакокрасочных покрытий / В. И. Логанина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2020. – № 5-6(256-257). – С. 67-72.
16. Бахромов, М. М. Дефекты при проектировании и строительстве оснований и фундаментов / М. М. Бахромов, У. Ж. Рахмонов // Проблемы современной науки и образования. – 2019. – № 3(136). – С. 76-79.
17. Сечи, К. Ошибки в сооружении фундаментов / К. Сечи. – М.: Госстройиздат, 1960. – 146 с.

18. Шкинёв А.Н. Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения / А.Н. Шкинёв. – М.: Стройиздат, 1986. – 375с.
19. Мангушев, Р.А. Современные свайные технологии / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 235 с.
20. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
21. Шулятьев, О.А. Освоение подземного пространства городов: научное издание / О.А. Шулятьев, О.А. Мозгачева, В.С. Поспехов. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 510 с.
22. Селетков, Н.С. Современные технологии устройства свай, изготавливаемых на строительной площадке / Н. С. Селетков, С. В. Калошина // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2018. – Т. 2. – С. 188-196.
23. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н.М. Герсевича Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980.
24. Hussein, M.N. Deep foundations quality control and quality assurance testing methods / M.N. Hussein, G. Likins // Florida Engineering Society Journal. – 2005. – p. 10-13.
25. Beckhaus, K. Ultrasonic Integrity Testing for Bored Piles – A Challenge / K. Beckhaus, H. Heinzelmann. // Proceedings of the Int. Symp. on Non-Destructive Testing in Civil Engineering. – 2015. – p. 694-701.
26. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 7: Геотехническое проектирование – общие правила: пер. с англ. – М.: МГСУ, 2013. – 360 с.
27. Жариков, И.С. Влияние качества бетонных работ на прочность бетона монолитных конструкций / И.С. Жариков, А. Лакетич, Н. Лакетич // Строительные материалы и изделия. – 2018. – Том 1. – №1. – С. 51-58.
28. Мангушев, Р.А. К вопросу контроля качества изготовления и приемки буронабивных свай / Р.А. Мангушев, А.Б. Пономарев // Вестник

Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – №3. – С. 88-111.

29. Мангушев, Р.А. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства / Р.А. Мангушев – М.: Изд-во АВС, 2017. – 168 с.

30. Braja, M.D. Principles of foundation engineering. / M.D. Braja // Toronto: Nelson, 2007. – 750 p.

31. Полищук, А. И. Способы усиления фундаментов и строительных конструкций цокольной части реконструируемых, восстанавливаемых зданий / А. И. Полищук, А. А. Петухов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9. – № 1. – С. 42-51.

32. Коновалов, П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий / П. А. Коновалов. – 5-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 383 с.

33. Невзоров, А. Л. Основания и фундаменты в схемах и таблицах: учебное пособие / А. Л. Невзоров. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 163 с.

34. Хвастунов, В.Л. Производственный опыт использования комплексных добавок – отходов от предприятий микробиологического синтеза в строительной индустрии / В. Л. Хвастунов, К. Н. Махамбетова, А. А. Орлов, А. В. Хвастунов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 30-42.

35. Касторных, Л. И. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии / Л. И. Касторных, А. В. Каклюгин, М. А. Гикало, И. В. Трищенко // Строительные материалы. – 2020. – № 3. – С. 4-11.

36. Svintsov, A.P., Effect of nanomodified additives on properties of concrete mixtures during winter season / A.P. Svintsov, E.L. Shchesnyak, V.V. Galishnikova, R.S. Fediuk, N.A. Stashevskaya // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 237. – 117527.

37. Barabanshchikov, G. Influence of superplasticizer s-3 on the technological properties of concrete mixtures / G. Barabanshchikov, M.V. Komarinskiy // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 941-944. – p. 780-785.

38. Kong, D. Influence of nano-silica agglomeration on microstructure and properties of the hardened cementbased materials / D. Kong, X. Du, S. Wei, H. Zhang, Y. Yang, S.P. Shah // *Construction and Building Materials*. – 2012. – Vol. 37. – p. 707-715.

39. Свинцов, А.П. Влияние наномодифицированной добавки на подвижность бетонных смесей / А.П. Свинцов, А.А.Н. Аббас, А. Абдель-Сатер, А.Н. Сорокин // *Строительные материалы*. – 2020. – № 7. – С. 54-59.

40. Hisseine, O.A. Nanocellulose for improved concrete performance: A macro-to-micro investigation for disclosing the effects of cellulose filaments on strength of cement systems / O. A. Hisseine, W. Wilson, L. Sorelli, B. Tolnai, A. Tagnit-Hamou // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 206. – p. 84-96.

41. Пухаренко, Ю. В., Целлюлоза в бетоне: новое направление развития строительной нанотехнологии / Ю. В. Пухаренко, И. У. Аубакирова, В. И. Хирхасова // *Строительные материалы*. – 2020. – № 7. – С. 39-44.

42. Chiorino, M. A. Analysis of Structural Effects of Time-Dependent Behaviour of Concrete: an Internationally Harmonized Format - Recent Updates / M. A. Chiorino // *Industrial and Civil Engineering*. – 2019. – No 2. – P. 4-18.

43. Сахаров, Г.П. О краткосрочной перспективе нанотехнологий в производстве строительных материалов и изделий / Сахаров Г.П. // *Технологии бетонов*. – 2009. – № 5. – С. 13-15.

44. Калашников, В.И. Бетоны: макро-, микро-, нано- и пикомасштабные сырьевые компоненты. Реальные нанотехнологии бетонов / В.И. Калашников // *Дни современного бетона: сб. докладов конференции*. – Запорожье. – 2012. – С.56-59.

45. Чесноков, А. С. Применение нанодисперсного диоксида кремния в строительных материалах / А. С. Чесноков, В. И. Баранова, С. Л. Карпов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2019. – № 2(35). – С. 78-82.
46. Лесовик, В.С. К вопросу изучения особенностей структурообразования композиционных вяжущих для неавтоклавных газобетонов / В. С. Лесовик, М. В. Абсиметов, М. Ю. Елистраткин [и др.] // Строительные материалы и изделия. – 2019. – Т. 2. – № 3. – С. 41-47.
47. Bos, F. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing / F. Bos, R. Wolfs, Z. Ahmed, T. Salet // Virtual and Physical Prototyping. – 2016. – №11 (3). – p. 209 -225.
48. Баженов, Ю.М. Системный анализ в строительном материаловедении / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2012. – 152 с.
49. Федосов, С. В. Состояние и перспективы применения полимерных теплоизоляционных материалов в строительстве / С.В. Федосов, С.А. Малбиев, А.А. Кусенкова, Ю.С. Ветрова, Н.А. Грузинцева, Б.Н. Гусев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 3(7). – С. 26-43.
50. Данилов, В.Е. Технологические особенности и перспективы производства инновационного древесно-минерального композита / В.Е. Данилов, А.А. Шинкарук, А.М. Айзенштадт // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2019. – №7-8. – С. 24-27.
51. Килюшева, Н.В. Модификация древесины органоминеральным комплексом / Н.В. Килюшева, А.М. Айзенштадт, В.Е. Данилов, А.О. Беляев // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 2. С. 47-51.
52. Лесовик, В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее / В.С. Лесовик // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12 №1(100). – С. 9–16.

53. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.
54. Строкова, В.В. Наночастицы в строительном материаловедении / Строкова В.В., Жерновский И.В., Череватова А.В. – Санкт-Петербург. – 2017. – 125 С.
55. Строкова, В.В. Свойства композиционного вяжущего на основе наноструктурированной суспензии / В.В. Строкова, Д.Д. Нецвет, В.В. Нелюбова, И.В. Серенков // Строительные материалы. – 2017. – № 1-2. – С. 50-54.
56. Габидуллин, М.Г. Влияние добавки наномодификатора на основе углеродных нанотрубок на прочность цементного камня / М.Г. Габидуллин, А.Ф. Хузин, Н.М. Сулейманов, П.Н. Тогулев // Известия КГАСУ. – 2011. – № 2 (16). – С. 185-189.
57. Nelyubova, V. V. Specifics of Structure Formation of Cement Stone with Silica Raw Material - A Substrate of Photocatalytic Composite Material / V. V. Nelyubova, Yu. N. Ogurtsova, M. N. Sivalneva [et al.] // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1017. – P. 153-162.
58. Касторных, В.С. Влияние механоактивационного воздействия на активность вяжущих веществ / В.С. Касторных // Строительные материалы. – М., 2003. – №9. – С. 28-29
59. Данилов, А.М. Строительное материаловедение: комплексные исследования, системный анализ / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. - 2017. - №1 (30). - С. 42-46.
60. Сухая строительная смесь огнезащитная: пат. 2541989 Рос. Федерация: МПК С04В28/14 / Ю.М. Тихонов, М.Ю. Гугучкина, А.А. Журавин, Ю.В. Пухаренко, С.Н. Терехин, А.Ф. Шарапенко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет". №2013154222/03; заявл. 05.12.2013; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5. – 6 с.

61. Пухаренко, Ю.В. Получение наномодификатора цементных композитов на основе углеродных нанотрубок "ДЕАЛТОМ" / Ю.В. Пухаренко, Д.Г. Летенко, Ю.М. Тихонов, Е.А. Палкин, О.В. Демичева, В.И. Костюков // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2017. – С. 56-63.
62. Королев, Е.В. Модифицирование строительных материалов наноуглеродными трубками, фуллеренами / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, В.А. Береговой // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 2.
63. Королев, Е.В. Нанотехнология в строительном материаловедении. Анализ состояния и достижений. Пути развития / Е.В. Королев // Строительные материалы. – 2014. – № 11. – С. 47-80.
64. Silvestre, J. Review on concrete nanotechnology / J. Silvestre, N. Silvestre, J. de Brito // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2016. – Vol. 20. – № 4. – P. 455–485.
65. Nivethitha D., Review on Mechanical Properties of Cement Mortar Enhanced with Nanoparticles / D. Nivethitha, S. Srividhya, S. Dharmar // International Journal of Science and Research. – 2016.
66. Морозова, М.В. Мелкозернистый бетон с использованием сапонит-содержащих отходов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Морозова Марина Владимировна. – Пенза, 2019. – 169 с.
67. Тараканов, О.В. Химические добавки в растворы и бетоны / О.В. Тараканов. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – 2016. – 155 с.
68. Пименов, А.И. Физико-механические свойства цементных композитов, модифицированных нанодобавкой / А.И. Пименов, Р.А. Ибрагимов, В.С. Изотов // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 1. – С. 128130.
69. Пухаренко, Ю.В. Наномодифицированный сталефибробетон для мостовых конструкций / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2017. – Т.3. – №4.

70. Очерет, Н.П. Коллоидно-дисперсные системы в природе и современной технике / Н.П. Очерет, А.В. Черненченко // Биосфера и человек. Материалы международной научно-практической конференции. – 2019. – С.501-503.

71. Ерофеев, В. Т. Биостойкость эпоксидных полимербетонов, модифицированных каменноугольной смолой. / В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов, И.Э. Кондакова, С.В. Казначеев, А.Д. Богатов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №7-2. – С. 310-325.

72. Строкова, В.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем / В.В. Строкова, А.В. Череватова, И.В. Жерновский, Е.В. Войтович // Строительные материалы. - 2012. - № 7. - С. 9-12.

73. Королев, Е.В., Прошин, А.П. Ерофеев В.Т. Строительные материалы на основе серы / под редакцией Прошина А.П. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та. – 2003. – 371 с.

74. Королев, Е.В. Некоторые аспекты проектирования составов многокомпонентных композиционных материалов / Королев Е.В. Смирнов В.А., Альбакасов А.И., Иноземцев А.С. / Нанотехнологии в строительстве. – 2011. – № 6.– С. 32-43.

75. Федосов, С.В. Основные принципы технологии получения теплоизоляционного пеностекла, подходы к моделированию / С.В. Федосов, М.О. Баканов, С.Н. Никишов / В сборнике: Эффективные строительные композиты. – Изд-во: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 690-699.

76. Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Дроздюк Т. А. Физикохимия поверхности высокодисперсных систем: учебное пособие / Архангельск: Изд-во: ООО «Дапринт», 2017. – 128 с.

77. Айзенштадт, А. М. Элементы физикохимии поверхности высокодисперсных систем / А. М. Айзенштадт, В. С. Лесовик, М. А. Фролова,

А. С. Тутыгин //Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2015. – 145 с.

78. Белов, В. В. Теоретические предпосылки проектирования составов минеральной части строительных смесей / В. В. Белов // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2009. – № 1. – С. 74-84.

79. Молчанов, В.И. Активация минералов при измельчении / В.И. Молчанов, О.Г. Селезнева, Е.Н. Жирнов. – М.: Недра, 1988. – 208 с.

80. Ходаков, Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов / Г.С. Ходаков. – М.: Стройиздат, 1972. – 289 с.

81. Прокопенко, В.С. Оптимизация работы оборудования для получения тонкодисперсных порошков / В.С. Прокопенко, Р.Р. Шарапов, А.М. Агарков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. –2015. – №1. – С. 80–83.

82. Агеева, М.С. Влияние времени помола на свойства композиционного вяжущего / М.С. Агеева, Г.А. Лесовик, С.М. Шаповалов, О.Н. Михайлова, С.З. Тахиров, Д.Д. Помошников, Р.С. Федюк // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – №4. – С. 28–32.

83. Rai, A. Metallurgical slag as a component in blended cement / A. Rai, J. Prabakar, C.B. Raju, R.K. Morchalle // Construction and building materials. – 2002. – Vol. 16 (8). – pp. 489–494.

84. Данилов, В.Е. Комплексный подход к оценке наноразмерных фракций полидисперсных систем измельченных горных пород / В.Е. Данилов, А.М. Айзенштадт // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8. – № 3. – с. 97-110.

85. Королев, Е.В. Основные принципы практической нанотехнологии в строительном материаловедении / Е.В. Королев // Нанотехнологии в строительстве. – 2009. – № 1. – С. 66-79.

86. Савицкая, Т.А. Коллоидная химия: вопросы, ответы и упражнения. Учебное пособие. / Т. А. Савицкая, Д. А. Котиков. – Минск: БГУ, 2009. – 140 с.
87. Калашников, В.И. Применение водных суспензий природных пуццоланических добавок в производстве бетонов / В.И. Калашников, О.В. Тараканов, Р.Н. Москвин, М.Н. Мороз, Е.А. Белякова, В.С. Белякова, Р.И. Спиридонов // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 1. – С. 103-107.
88. Пухаренко, Ю.В., Модифицирование цементных композитов смешанным наноуглеродным материалом фуллероидного типа / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова, В.А. Никитин, Д.Г. Летенко, В.Д. Староверов // Технологии бетонов. – 2013. – №12. – С. 13-15.
89. Толстой, А. Д. Высокопрочные материалы для декоративных целей / А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, И.А. Ковалева, И.В. Якимов, Н.П. Лукуцова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 8. – С. 51-53.
90. Лесовик, В. С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород / В. С. Лесовик – М.: АСВ, 2006. – 524 с.
91. Каприелов, С. С. Новые модифицированные бетоны / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Г. С. Кардумян. – М.: ООО "Предприятие Мастер Бетон", 2010. – 258 с.
92. Каприелов, С. С. Уникальные бетоны и опыт их реализации в современном строительстве / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Г. С. Кардумян // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 1. – С. 42-44.
93. Volodchenko, A. A. Influence of the inorganic modifier structure on structural composite properties / A. A. Volodchenko, V. S. Lesovik, L. H. Zagorodnjuk, A. N. Volodchenko // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10. – No 19. – P. 40617-40622.

94. Chung, D.D.L. Electrically conductive cement-based materials / D.D.L. Chung // *Advances in Cement Research*. – 2014. – Vol. 16. – No. 4. – P. 167-176.
95. Amin, M.S. Effect of addition of nano-magnetite on the hydration characteristics of hardened Portland cement and high slag cement pastes / M.S. Amin, S.M.A. El-Gamal, F.S. Hashem // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – Vol. 112. – No. 3. – P. 1253-1259.
96. Lee, H.-S. Effects of Magnetite Aggregate and Steel Powder on Thermal Conductivity and Porosity in Concrete for Nuclear Power Plant / H.-S. Lee, S.-J. Kwon // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 2016. – P. 1-18.
97. Егунова, О. Р. Магнитные наночастицы магнетита в разделении и концентрировании / О. Р. Егунова, Т. А. Константинова, С. Н. Штыков // *Научный отдел Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. – 2014. – Т. 14. – вып. 4.
98. Bahadur, D. Processing, properties and some novel applications of magnetic nanoparticles / D. Bahadur, J. Giri, B.B. Nayak, T. Sriharsha, P. Pradhan, N. K. Prasad, K.C. Barick, R. D. Ambashta // *Pramana – journal of physics*. – 2005. – Vol. 65. – P. 663–679.
99. Wang, H. A simple, one-step hydrothermal approach to durable and robust superparamagnetic, superhydrophobic and electromagnetic wave-absorbing wood / H. Wang, Q. Yao, C. Wang, B. Fan, Q. Sun, C. Jin, Y. Xiong, Y. Chen // *Scientific Reports*. – 2016. – Vol. 6. – P. 35549.
100. Wang, X. The Study On Magnetite Particles Coated With Bilayer Surfactants / X. Wang, C. Zhang, X. Wang, H. Gu // *Applied Surface Science*. – 2007. – Vol. 253. – P. 7516–7521.
101. Матюхин, П.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных

реакторов / П.В. Матюхин, А.В. Ястребинская, З.В. Павленко // Успехи современного естествознания. – 2015. № 9. – С. 507-510.

102. Borucka-Lipska, J. On magnetite concentrate grains with respect to their use in concrete / J. Borucka-Lipska, W. Kiernożycki, N. Guskos, M. R. Dudek, D. Q. Ho, W. Wolak, M. Marć, J. J. Koziół, J. K. Kalaga // International Journal of Engineering Research & Science. – 2016. – Vol. 2. – P. 97–103.

103. Sikora, P. The Influence of Nano-Fe₃O₄ on the Microstructure and Mechanical Properties of Cementitious Composites / P. Sikora, E. Horszczaruk, K. Cendrowski, E. Mijowska // Nanoscale Research Letters. – 2016. – Vol. 11.

104. Лесовик, Р.В. Активация мелкозернистого бетона на железосодержащих техногенных песках магнитным полем / Р.В. Лесовик, М.С. Агеева, Н.В. Чернышева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – №1. – С. 24-28.

105. Авдушева, М.А. Влияние магнетита на электропроводность растворной смеси / М.А. Авдушева, А.Л. Невзоров // Строительные материалы. – 2017. – № 11. – С.55–58.

106. Amin, M.S. Effect of addition of nano-magnetite on the hydration characteristics of hardened Portland cement and high slag cement pastes / M.S. Amin, S.M.A. El-Gamal, F.S. Hashem // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – Vol. 112, – No. 3. – P. 1253–1259.

107. Mamunya, Ye.P. Influence of pressure on the electrical conductivity of metal powders used as fillers in polymer composites / Ye.P. Mamunya, Z. Haralampos, A. Lazaros, E.V. Lebedev // Powder Technology. – 2004. – Vol. 140, – P. 49–55.

108. Avdusheva, M. Ferro-Cement Injection Grout for Foundation Strengthening / M. Avdusheva, A. Nevzorov // GeoMEast 2018: Advanced Research on Shallow Foundations. – 2019. – Vol. 1. – P. 127-135.

109. Способ контроля характеристик жидкой колонны в процессе ее образования: пат. 2165495 Рос. Федерация: МПК E02D 5/46, E02D 3/12, G01N

27/72, G01N 33/38 / С.В. Герус, В.В. Дементиенко, В.И. Миргородский; заявитель и патентообладатель ЗАО "НЕЙРОКОМ". №99126730/03; заявл. 17.12.1999; опубл. 20.04.2001, Бюл. №3. – 9 с.

110. Способ определения количества цемента в грунтоцементном материале конструкции: пат. 2513567 Рос. Федерация: МПК E02D 3/12, G01N 27/22 / Д.А. Гришко; заявитель и патентообладатель ЗАО "Триада- Холдинг". №2012146570/03; заявл. 01.11.2012; опубл. 20.04.2014, Бюл. №11. – 7 с.

111. Хабаров, Ю.Г. Магнитные жидкости на основе различных типов лигносульфонатов / Ю.Г. Хабаров, И.М. Бабкин, О.С. Бровко, М.С. Яковлев // Химия растительного сырья. – 2013. – № 2. – С. 63-68.

112. Способ получения феррожидкости: А. с. 861321 СССР: МПК C01G 49/08 / Е.Е. Бирик, Н.М. Грибанов, О.В. Бузунов, В.Г. Гермашев; заявитель и патентообладатель опытное конструкторско-технологическое бюро «Кристалл». №2582200/23-26; заявл. 21.02.1978; опубл. 07.09.1981, Бюл. №33. – 2 с.

113. Способ получения феррожидкости: А. с. 966015 СССР: МПК C01G 49/08 / Е.Е. Бирик, О.В. Бузунов, Н.М. Грибанов, В.Г. Гермашев; заявитель и патентообладатель опытное конструкторско-технологическое бюро «Кристалл». №2639301/23-26; заявл. 06.07.1978; опубл. 15.10.1982, Бюл. №38. – 2 с.

114. Рентгеноконтрастное вещество: А. с. 978860 СССР: МПК A61K 33/26 / А.Ф. Цыб, И.С. Амосов, Е.Е. Бирик, Н.М. Грибанов, Р.Г. Никитина, М.М. Рожинский, М.К. Кугельмас, К.С. Шаназаров, И.С. Слюсаренко, Е.М. Граник; заявитель и патентообладатель опытное конструкторско-технологическое бюро «Кристалл». №3320141/28-13; заявл. 18.05.1981; опубл. 07.12.1982, Бюл №45. – 3 с.

115. Берковский, Б.М. Магнитные жидкости / Б.М. Берковский, В.Ф. Медведев, М.С. Краков. – М.: Химия, 1989. – 240с.

116. Rosensweig, R.E. Labyrinthine Instability in Magnetic and Dielectric Fluids / R.E. Rosensweig, M. Zahn, R. Shumovich // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 1983. – №39. – P. 127-132.

117. Силаев, В.А. Влияние природы ПАВ в МЖ на работоспособность МЖУ / В.А. Силаев // VII Межд. Плесская конф. по магнитным жидкостям. – 1996. – С. 27-28

118. Хабаров, Ю.Г. Конденсационно-дисперсионный синтез магнитной жидкости с использованием модифицированных лигносульфоновых кислот / Ю.Г. Хабаров, В.А. Вешняков, Г.В. Комарова, Н.Ю. Кузяков, А.А. Патракеев, В.А. Плахин // В книге: XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии тезисы докладов в пяти томах. Уральское отделение Российской академии наук. – 2016. – С. 152.

119. Блум, Э. Я. Магнитные жидкости / Э. Я. Блум, М. М. Майоров, А. О. Цеберс // АН ЛатвССР, Ин-т физики. – 1989. - 386 с.

120. Хабаров, Ю.Г. Синтез магнитоактивного соединения в присутствии технических лигносульфонатов / Ю.Г. Хабаров, Н.Ю. Кузяков, Г.В. Комарова, В.А. Вешняков, А.А. Патракеев // *Журнал прикладной химии*. – 2015. – Т. 88. – № 12. – С. 1734-1738.

121. Khabarov, Yu. Synthesis of magnetoactive compound based on redox interactions of iron (II) cations with permanganate ions / Yu. Khabarov, V. Veshnyakov, N. Kuzyakov, E. Skripnikov // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings. – 2018. – С. 199-206.

122. Massart, R. Syntheses et etude physicochimique de colloides magnetiques non surfactes en milie aqueux / R. Massart, J-M. Fruchart // *Nouveau journal de chimie*. – 1983. – V.7. – № 5. – p.325 – 331.

123. Губин, С.П. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства / С.П. Губин, Ю.А. Кокшаров, Г.Б. Хомутов, Г.Ю. Юрков // *Успехи химии*. – 2005. – № 74. – С. 539-574

124. Матюхин, П.В. Основные физико-механические характеристики магнетита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования / П.В. Матюхин, Р.Н. Ястребинский, А.В. Широков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – стр. 189-193.

125. Терёшкин, П.А. Электрические и магнитные свойства магнитной жидкости / П.А. Терёшкин, А.А. Мельников, А.Г. Мурадова, А.С. Свистунов, Ю.Д. Ягодкин, Е.В. Юртов // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – №7. – С. 112-115.

126. Hong, R.Y. Magnetic field synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles used as a precursor of ferrofluids / Hong R.Y., Pan T.T., Han Y.P., Li H.Z., Ding J., Han S. // JMMM. – 2007. – V. 310. – P. 37-47.

127. Шарапаев, А.И. Получение магнитных наночастиц на основе магнетита и фармацевтически приемлемых полимеров для МРТ-диагностики / А.И. Шарапаев, А.Г. Мурадова, Е.В. Юртов, // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – №7. – С. 112-115.

128. Chen, H.J. Preparation and characterization of silicon oil based ferrofluid / H.J. Chen, Y.M. Wang, J.M. Qu, R.Y. Hong, H.Z. Li // Applied Surface Science. – 2011. – № 257. – p. 10802– 10807.

129. Khabarov, Y.G. One-step synthesis of magnetoactive compound / Y.G. Khabarov, I.M. Babkin, N.Yu. Kuzyakov, V.A. Veshnyakov, V.A. Plakhin, A.S. Orlov, D.G. Chukhchin, E.A. Varakin // Mendeleev Communication. – 2017. – Vol. 27. – №2. – P. 186-187.

130. Khabarov, Yu.G. Using Nitrated Lignosulfonates for the Synthesis of a Water-Based Magnetic Fluid / Yu.G. Khabarov, V.A. Veshnyakov, G.V. Komarova, N.Yu. Kuzyakov , D.G. Chukhchin // International Journal of Nanoscience – 2018. – Vol. 17. – №3. – 1850018.

131. Способ создания накопителя токсичных отходов на сильно деформируемом основании пат. 2611167 Рос. Федерация: МПК E02B3/16 / А.Л. Невзоров, М.А. Авдушева, Н.Ю. Кузяков, Ю.Г.; заявитель и патентообладатель

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. № 201553930; заявл. 15.12.2015; опубл. 21.02.2017; Бюл. №6. – 11 с.

132. Novopashin, S.A. Methods of magnetic fluid synthesis (review) / S.A. Novopashin, M.A. Serebryakova, S.Y. Khmel // Thermophysics and Aeromechanics. – 2015. – Vol. 22. – No 4. – P. 397-412.

133. De Vicente, J. Magnetorheological fluids: a review / J. De Vicente, D.J. Klingenberg, R. Hidalgo-Alvarez // Soft Matter. – 2011. – Vol. 7. – №8. – P. 3701-3710.

134. Lopez-Lopez, M.T Colloids on the frontier of ferrofluids. Rheological properties / M.T. Lopez-Lopez, A. Gomez-Ramirez, L. Rodriguez-Arco et al. // Langmuir. – 2012. – Vol. 28. – № 15. – P. 6232-6245.

135. Chand, M. The size induced effect on rheological properties of Co-ferrite based ferrofluid / M. Chand, S. Kumar, A. Shankar, R. Porwal, R.P. Pant // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2013. – p. 38-42.

136. Дерягин, Б.В. Теория устойчивости коллоидов и тонких плёнок / Б.Д. Дерябин // М.: Наука. – 1986. – 206 с.

137. Лунина, М.А. Основные закономерности агрегативной устойчивости и коагуляции лиофобных коллоидных систем / М.А. Лунина, Ф.С. Байбуртский, И.И. Сенатская // Физико-химические аспекты синтеза магнитных жидкостей: Сборник трудов 10-й юбилейной международной Плесской конференции по магнитным жидкостям. – Плес. – 2002. – С. 4-10.

138. Zhang, J.-H. Hydrodynamic Properties of Fe₃O₄ Kerosene-Based Ferrofluids with Narrow Particle Size Distribution / J.-H. Zhang, X.-F. Xu, M.-S. Si, Y.-H. Zhou, D.-S. Xue // Chinese Physics Letters. – 2005. Vol. 22. – P. 2944-2946.

139. Гареев, К.Г. Синтез и исследование коллоидных растворов наночастиц магнетита / К.Г. Гареев, И.Е. Кононова, В.А. Мошников // Материалы Международной научно-технической конференции INTERMATIC. – 2013. – С. 95-99.

140. Wang S., Yang C., Bain X. Magnetoviscous properties of Fe_3O_4 silicon oil based ferrofluid / Wang S., Yang C., Bain X. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. – Vol. 324. – P. 3361-3365.

141. Qiao, F. High-purified Isolation and Proteomic Analysis of Urinary Exosomes from Healthy Persons / F. Qiao, K. Wang, W. Gao, // Nano Biomed. Eng. – 2017. – №9. – p. 337-343.

142. Способ получения магнитоактивного соединения: пат. 2230705 Рос. Федерация: МПК C01G 49/08 / В.Г. Беликов, А.Г. Курегян, Ш.О. Шахшаев, И.Н. Зилфикаров; заявитель и патентообладатель Пятигорская государственная фармацевтическая академия. № 2000109795/02; заявл. 27.12.2001; опубл. 20.06.2004, Бюл. № 6. – 4 с.

143. Розенцвейг, Р. Е. Феррогидродинамика / Р. Е. Розенцвейг. М.: Мир. – 1989. — 240 с.

144. Такетоми, С. Магнитные жидкости / С. Такетоми, С. Тикадзуми. М.: Мир. – 1993. – 137 с.

145. Орлов, Д.В. Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин // М.: Машиностроение. – 1993. – 272 с.

146. Подгорков, В.В. Использование магнитных жидкостей в качестве компонентов смазочных материалов и технологических сред / В.В. Подгорков, П.В. Пучков // Сборник материалов международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии». – 2005. – С. 154.

147. Подгорков, В.В. Повышение долговечности, надежности и трибологической безопасности технических устройств путем применения магнитных жидкостей / В.В. Подгорков // Вестник ИГЭУ. – 2005. – Вып. 3. – с. 1-4.

148. Сенатская, И.И. Жидкость, которая твердеет в магнитном поле / И.И. Сенатская, Ф.С. Байбуртский // Химия и жизнь. – 2012. – №10. – С.43–47.

149. Nowak, J. Magnetoviscous effect in ferrofluids diluted with sheep blood / J. Nowak, D. Borin, S. Haefner, A. Richter, S. Odenbach // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2017. – № 4, p. 383-390.

150. Магнитогидростатический сепаратор: А.с. 908404 СССР: В03С 1/30, В03С 1/32 / В. В. Гогосов, Р. Д. Смолкин, Ю. М. Гарин, В. Н. Губаревич, М. В. Заскевич; заявитель и патентообладатель Государственный проектно-конструкторский институт «Гипромашуглеобогащение». №2968152/22-03; заявл. 29.07.1980; опубл. 28.02.1982, Бюл. № 8. – 4 с.

151. Бобровицкий, Д.А. Магнитная жидкость – наноматериал для машиностроения / Д.А. Бобровицкий, Л.Г. Деменкова // *Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014)*. – 2014. – С.631–635.

152. Масаев, Ю. А. Этапы знаменательных открытий физических явлений величайшими учеными XVIII-XIX в.в / Ю.А. Масаев, В.Ю. Масаев, Т.В. Фролова // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2015. – № 3. – С. 163-172.

153. Bibo, This A. Electromagnetic ferrofluid-based energy harvester / This A. Bibo, R. Masana, A. King, G. Li, M.F. Daqaq // *Physics Letters A*. – 2012. – №376. –р. 2163–2166.

154. Леоненко, И.Н. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Том III. Железные руды / Леоненко И.Н., Русинович И.А., Чайкин С.И. // М.: Недра. – 1969. – 320 с.

155. Колкова, М.С. Минералого-технологические особенности железотитановых руд Медведевского месторождения: дисс. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.05 / Колкова Мария Сергеевна. – Магнитогорск, 2020. – 120 с.

156. ГОСТ 31108–2016 Цементы общестроительные. Технические условия. – Введ. 01.01.1987. – М.: Издательство стандартов, 2008. – 7 с.

157. ГОСТ 8736–2014 Песок для строительных работ. Технические условия. – Введ. 01.04.2015. – М: Стандартинформ, 2015. – 12 с.

158. Вешнякова, Л. А. Оценка эффективности кремнезёмного сырья Архангельской области как компонента композиционных вяжущих / Л. А. Вешнякова, В. В. Строкова, А. М. Айзенштадт, В. В. Нелюбова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2015. – № 4. – с. 7-13.

159. Айзенштадт, А. М. Уникальный научно – исследовательский стенд «Физикохимия поверхности нанодисперсных систем» / А. М. Айзенштадт, А. С. Тутыгин, М. А. Фролова, Л. А. Вешнякова // Строительные материалы оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 11(166). – с. 14-16.

160. Вешнякова, Л. А. Оптимизация гранулометрического состава смесей для получения мелкозернистых бетонов / Л.А. Вешнякова, А.М. Айзенштадт // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 10. – с. 19-22.

161. Frolova, M.A. Danilov, V.E. Sokolova, Y.V. Ayzenshtadt A.M. Nano- and microheterogeneous systems in construction: Study Guide – Arkhangelsk: Norten (Arctic) Federal University's Publishing House. – 2018. – 116 p.

162. ГОСТ 5802–86 Растворы строительные. Методы испытаний. – Введ. 01.07.1986. – М: Стандартинформ, 2018. – 19 с.

163. Потапова, Е.Н. Методы определения пуццолановой активности минеральных добавок / Е.Н. Потапова, А.С. Манушина, М.С. Зырянов, А.В. Урбанов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2017. – №7-8. – С. 29-33.

164. ГОСТ 30744–2001 Методы испытаний с использованием полифракционного песка. – Введ. 01.03.2002. – М: МНТКС, 2002. – 36 с.

165. Рахимбаев, Ш.М. Прогнозирование долговечности строительных материалов / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Авершина // Ресурсосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций. – Белгород: Везелица, 1993. – С. 8.

166. Лабкович, О.Н Ориентационные эффекты углеродных нанотрубок в магнитной жидкости во внешнем магнитном поле / О.Н. Лабкович, В.А.

Чернобай // Сборник трудов: 18-я международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям. – Плес. – 2018. – С. 322-329.

167. Гельфман, М.И. Ковалевич, О.В. Юстратов, В.П. Коллоидная химия: учебник. – СПб.: Лань. – 2010. – 336 с.

168. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии: 2-е издание. – М.: Химия. – 1975. – 513 с.

169. Бобрышев, А.Н. Анализ распределения наполнителя в структуре композитов / А.Н. Бобрышев, П.А. Зубарев, П.И. Кувшинов, А.В. Лахно // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2012. – Вып. 1(20). – С. 1-7.

170. Алексеева, Е.В. Структурно-реологические свойства дисперсно-зернистых систем / Е.В. Алексеева, А.Н. Бобрышев, П.В. Воронов и др.; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. Воронеж, – 2010. – 196 с.

171. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. – М.: Наука, 1984 – 455 с.

172. СП 435.1325800.2018 Свод правил. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. – Введ. 27.05.2019. – М: Стандартинформ, 2019. – 59 с.

173. СП 45.13330.2017 Свод правил. Земляные сооружения, основания и фундаменты. – Введ. 28.08.2017. – М: Стройиздай, 2017. – 171 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

Санитарно-эпидемиологическое заключение по магнетиту

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ
В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА**
Главный Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора Минобороны России

(наименование территориального органа)

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ
№ 77.МО.01.570.П.002444.06.10 от 30.06.2010

Настоящим санитарно-эпидемиологическим заключением удостоверяется, что продукция:
Магнетит природный Кирябинского месторождения находящегося в Учалинском районе республики Башкортостан, Российская Федерация в 6 км. от деревни Кирябинка

изготовленная в соответствии
с паспортом на пробу железной руды, полученной из Кирябинского месторождения

СООТВЕТСТВУЕТ ~~(НЕ СООТВЕТСТВУЕТ)~~ санитарным правилам
(ненужное зачеркнуть, указать полное наименование государственных санитарно-эпидемиологических правил и нормативов):
ГН 2.2.5.1313-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны", ГН 2.1.6.1338-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест", ГН 2.2.5.2308-07, СП 2.6.1.798-99.

Организация-изготовитель
ООО "Стеатит", 453700, Республика Башкортостан, г. Учалы, ул. Горнозаводская 19, Российская Федерация.

Получатель санитарно-эпидемиологического заключения
ООО "Стеатит", 453700, Республика Башкортостан, г. Учалы, ул. Горнозаводская 19, Российская Федерация.

Основанием для признания продукции, соответствующей (не соответствующей) санитарным правилам, являются (перечислить рассмотренные протоколы исследований, наименование учреждения, проводившего исследования, другие рассмотренные документы):

Протокол испытаний № 480-0517 от 28.06.2010 г. ИЦ Сергиево-Посадского филиала ФГУ "Менделеевский ЦСМ". Регистрационный номер аттестата аккредитации ГОСТ Р № РОСС RU.0001.21АЮ22. Регистрационный номер аттестата аккредитации ГСЭН № РОСС RU.0001.516503. Экспертное заключение ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве" № 59143 от 28 июня 2010 г.

№ 2724669

© ЗАО "Первый печатный двор", г. Москва, 2009 г., уровень 48.

Приложение Б.

Протоколы определения ζ -потенциала



Delsa™ Nano
Common

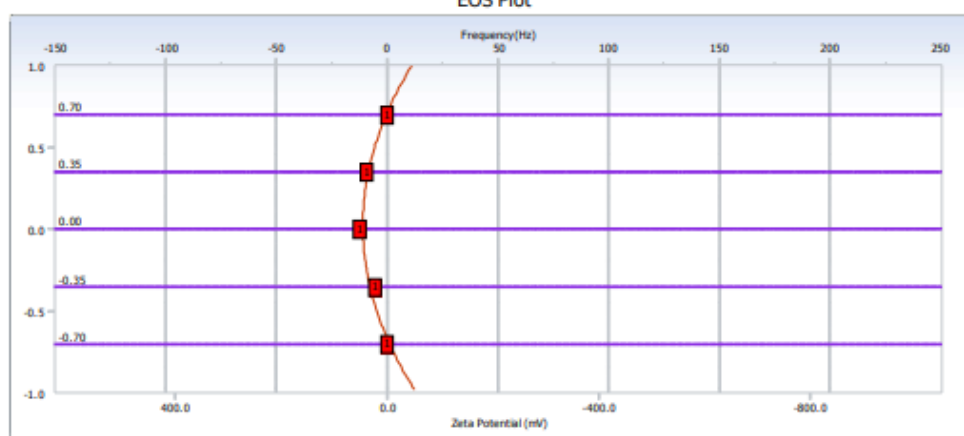
EOS Plot / Distribution Graph

S/N : 130510

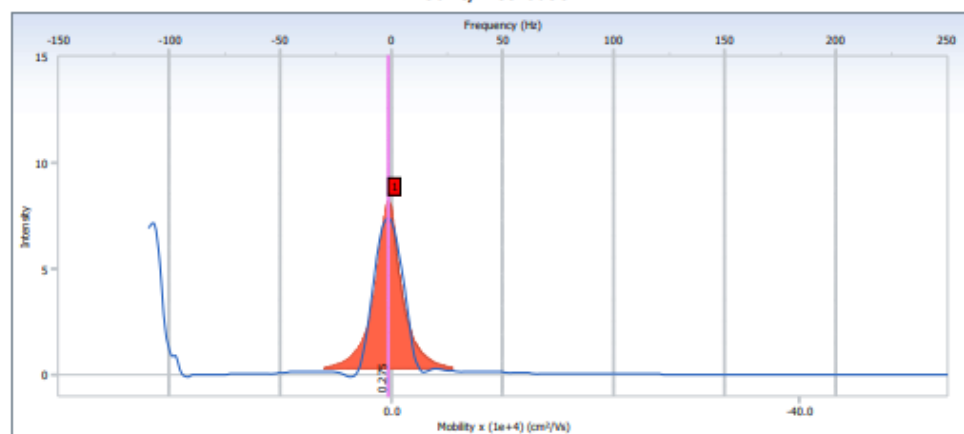
User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 10/1/2018	File Name : pH=2+magн_20181001_153229	
Time : 15:32:29	Sample Information :	
SOP Name : SOP(New)_ (1)	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.03

EOS Plot



Mobility Distribution



Measurement Results

Zeta Potential	: 5.29	(mV)	Doppler shift	: -1.26	(Hz)
Mobility	: 2.753e-005	(cm²/Vs)	Base Frequency	: 120.0	(Hz)
Conductivity	: 24.8287	(mS/cm)			

Zeta Potential of Cell			Diluent Properties		
Upper Surface	: 52.07	(mV)	Diluent Name	: WATER	
Lower Surface	: 61.13	(mV)	Temperature	: 25.1	(°C)
Cell Condition			Refractive Index	: 1.3328	
Cell Type	: Disposable		Viscosity	: 0.8858	(cP)
Avg. Electric Field	: -9.50	(V/cm)	Dielectric Constant	: 78.3	
Avg. Current	: -47.44	(mA)			



Delsa™ Nano
Common

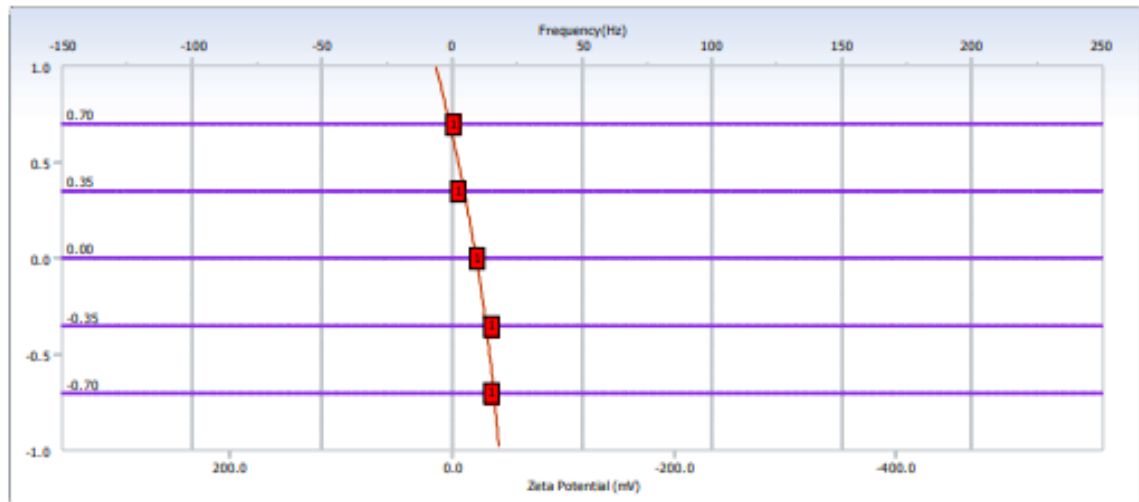
EOS Plot / Distribution Graph

S/N : 130510

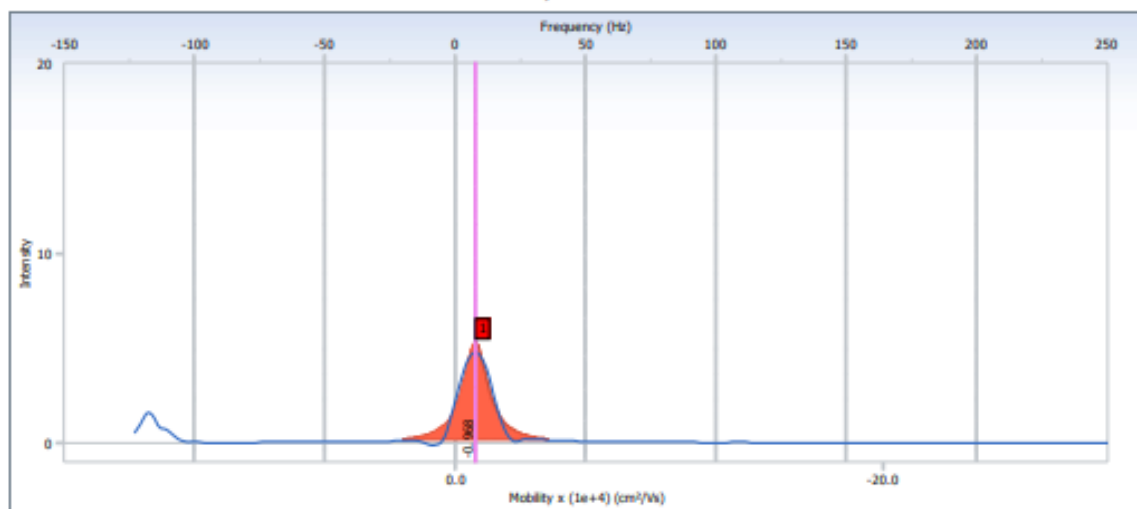
User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 10/1/2018	File Name : pH=4+manH_20181001_154439	
Time : 15:44:39	Sample Information :	
SOP Name : SOP(New)_(1)	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.03

EOS Plot



Mobility Distribution



Measurement Results

Zeta Potential	: -18.58	(mV)	Doppler shift	: 7.94	(Hz)
Mobility	: -9.678e-005	(cm²/Vs)	Base Frequency	: 121.1	(Hz)
Conductivity	: 0.1085	(mS/cm)			
Zeta Potential of Cell			Diluent Properties		
Upper Surface	: -32.91	(mV)	Diluent Name	: WATER	
Lower Surface	: 23.68	(mV)	Temperature	: 25.1	(°C)
Cell Condition			Refractive Index	: 1.3328	
Cell Type	: Disposable		Viscosity	: 0.8858	(cP)
Avg. Electric Field	: -16.98	(V/cm)	Dielectric Constant	: 78.3	
Avg. Current	: -0.37	(mA)			



Delsa™ Nano
Common

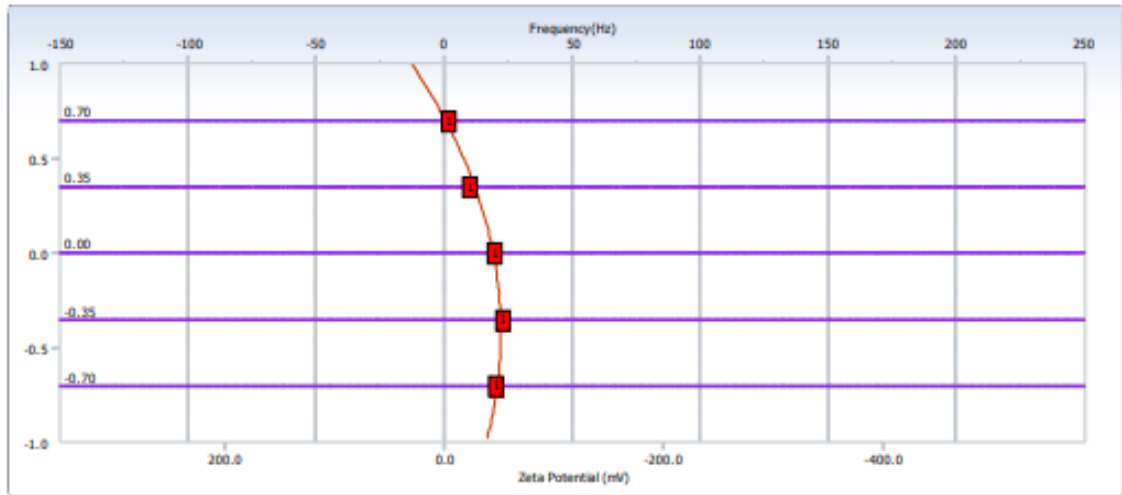
EOS Plot / Distribution Graph

S/N : 130510

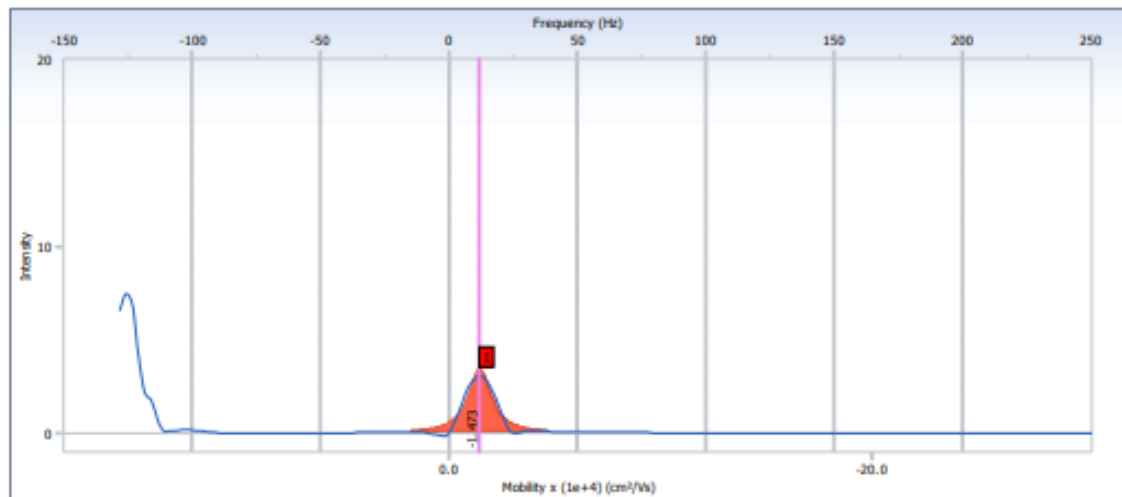
User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 10/1/2018	File Name : pH=6+marh_20181001_155613	
Time : 15:56:13	Sample Information :	
SOP Name : SOP(New)_(1)	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.03

EOS Plot



Mobility Distribution



Measurement Results

Zeta Potential	: -28.28	(mV)	Doppler shift	: 12.13	(Hz)
Mobility	: -1.473e-004	(cm²/Vs)	Base Frequency	: 120.1	(Hz)
Conductivity	: 0.0531	(mS/cm)			
Zeta Potential of Cell			Diluent Properties		
Upper Surface	: -56.92	(mV)	Diluent Name	: WATER	
Lower Surface	: 10.15	(mV)	Temperature	: 25.1	(°C)
Cell Condition			Refractive Index	: 1.3328	
Cell Type	: Disposable		Viscosity	: 0.8858	(cP)
Avg. Electric Field	: -17.04	(V/cm)	Dielectric Constant	: 78.3	
Avg. Current	: -0.18	(mA)			



Delsa™ Nano
Common

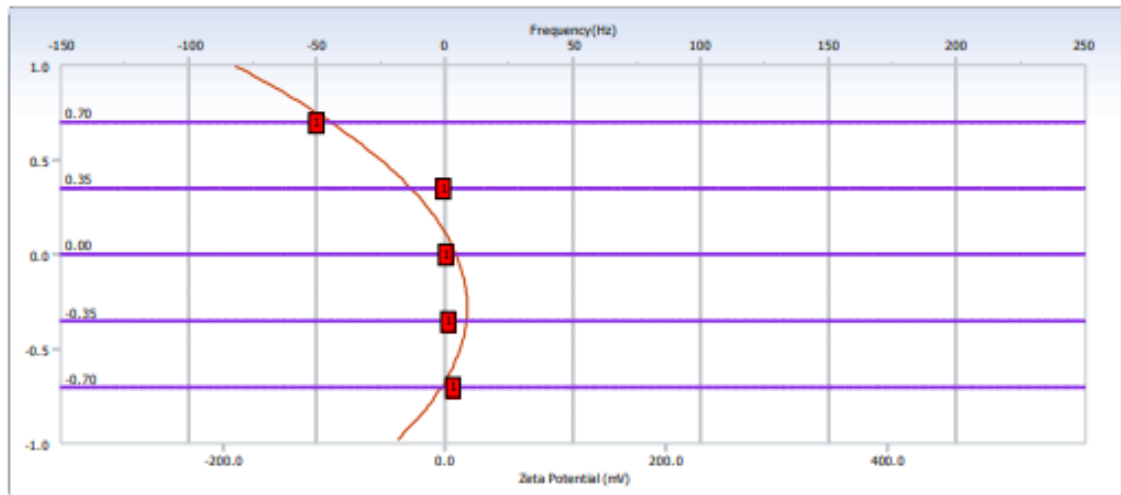
EOS Plot / Distribution Graph

S/N : 130510

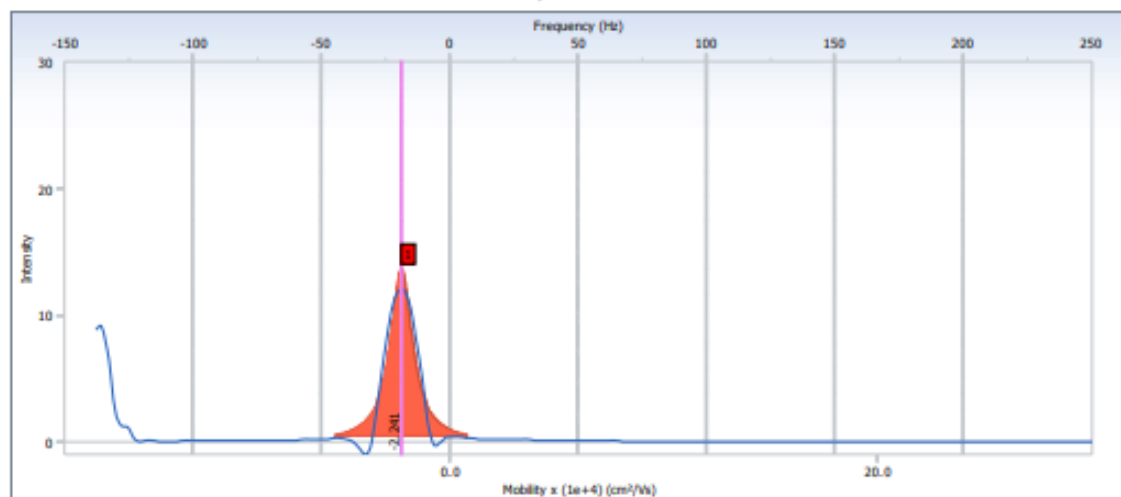
User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 10/1/2018	File Name : pH=8+maru_20181001_160820	
Time : 16:08:20	Sample Information :	
SOP Name : SOP(New)_(1)	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.03

EOS Plot



Mobility Distribution



Measurement Results

Zeta Potential	: -43.03	(mV)	Doppler shift	: -18.65	(Hz)
Mobility	: -2.241e-004	(cm²/Vs)	Base Frequency	: 118.7	(Hz)
Conductivity	: 0.0071	(mS/cm)			
Zeta Potential of Cell			Diluent Properties		
Upper Surface	: 146.01	(mV)	Diluent Name	: WATER	
Lower Surface	: 3.45	(mV)	Temperature	: 25.1	(°C)
Cell Condition			Refractive Index	: 1.3328	
Cell Type	: Disposable		Viscosity	: 0.8858	(cP)
Avg. Electric Field	: 17.23	(V/cm)	Dielectric Constant	: 78.3	
Avg. Current	: 0.02	(mA)			



Delsa™ Nano
Common

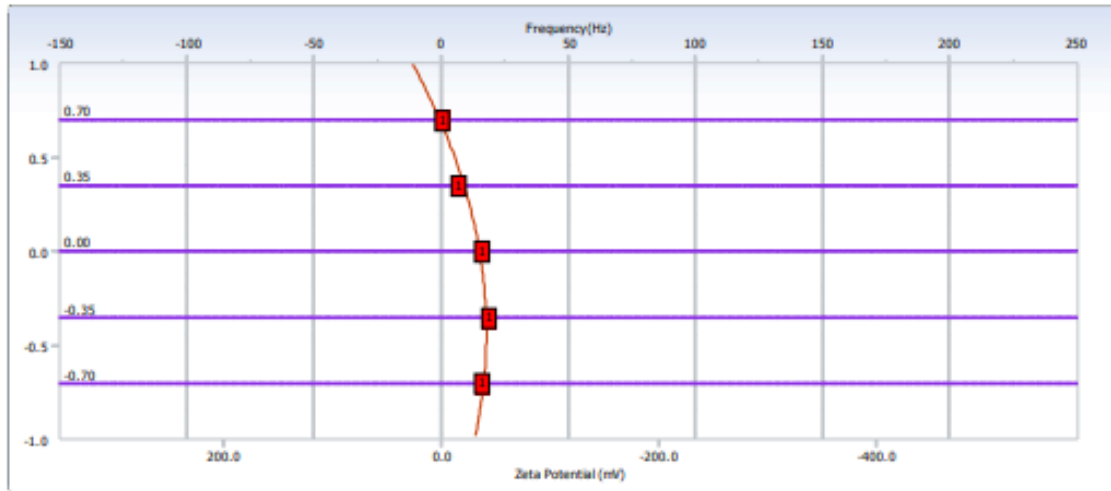
EOS Plot / Distribution Graph

S/N : 130510

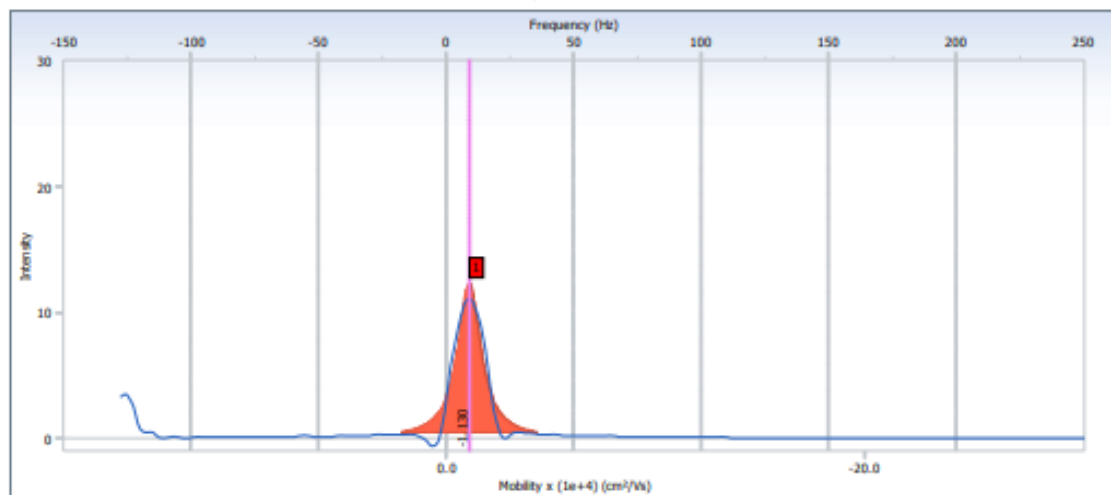
User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 10/1/2018	File Name : pH=10+magH_20181001_161859	
Time : 16:18:59	Sample Information :	
SOP Name : SOP(New)_1	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.03

EOS Plot



Mobility Distribution



Measurement Results

Zeta Potential	: -21.70	(mV)	Doppler shift	: 9.28	(Hz)
Mobility	: -1.130e-004	(cm²/Vs)	Base Frequency	: 120.8	(Hz)
Conductivity	: 0.0892	(mS/cm)			
Zeta Potential of Cell			Diluent Properties		
Upper Surface	: -47.82	(mV)	Diluent Name	: WATER	
Lower Surface	: 9.29	(mV)	Temperature	: 25.1	(°C)
Cell Condition			Refractive Index	: 1.3328	
Cell Type	: Disposable		Viscosity	: 0.8858	(cP)
Avg. Electric Field	: -17.00	(V/cm)	Dielectric Constant	: 78.3	
Avg. Current	: -0.30	(mA)			



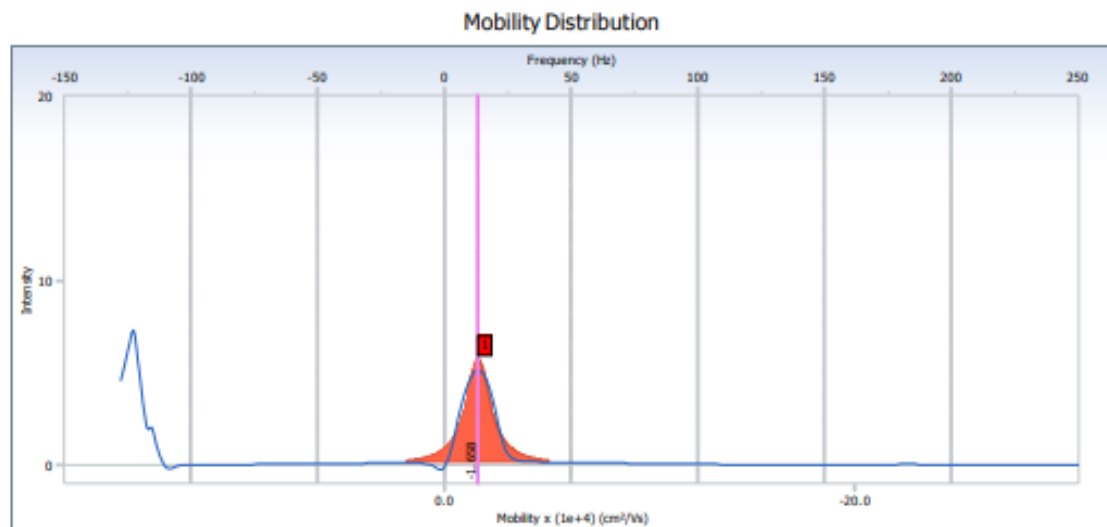
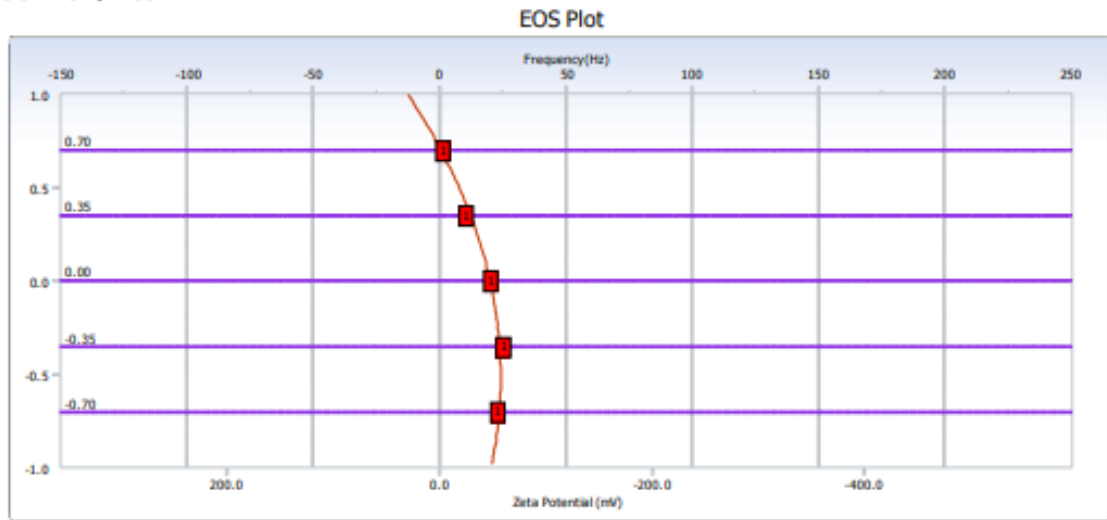
Delsa™ Nano
Common

EOS Plot / Distribution Graph

S/N : 130510

User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 10/1/2018	File Name : pH=12+marh_20181001_164610	
Time : 16:46:10	Sample Information :	
SOP Name : SOP(New)_(1)	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.03



Measurement Results

Zeta Potential	: -31.89	(mV)	Doppler shift	: 13.41	(Hz)
Mobility	: -1.658e-004	(cm²/Vs)	Base Frequency	: 120.4	(Hz)
Conductivity	: 0.4698	(mS/cm)			
Zeta Potential of Cell			Diluent Properties		
Upper Surface	: -61.12	(mV)	Diluent Name	: WATER	
Lower Surface	: 16.91	(mV)	Temperature	: 25.0	(°C)
Cell Condition			Refractive Index	: 1.3328	
Cell Type	: Disposable		Viscosity	: 0.8878	(cP)
Avg. Electric Field	: -16.75	(V/cm)	Dielectric Constant	: 78.3	
Avg. Current	: -1.57	(mA)			

Приложение В.

Расчет сметной стоимости работ по устройству свайного поля из 100 свай

ЛОКАЛЬНАЯ РЕСУРСНАЯ ВЕДОМОСТЬ № 1

на производство работ по устройству 100 буронабивных свай
длиной 10 м, диаметром 600 мм

Состав работ:

1. Перемещение буровой установки к месту бурения очередной скважины.
2. Установка и снятие направляющего кондуктора.
3. Бурение ствола.
4. Предупреждение искривления скважины.
5. Удаление выбуренного грунта.
6. Установка арматурного каркаса.
7. Монтаж и демонтаж бетонолитных труб и бункера.
8. Бетонирование ствола и головы сваи.

Ресурсы:

№ п.п	Шифр, номера нормативов и коды ресурсов	Наименование работ и затрат, характеристика оборудования и его масса	Единица измерения	Количество	
				на единицу	общая
1	2	3	4	5	6
1	ГЭСН 05-01-029	Устройство железобетонных буронабивных свай с бурением скважин вращательным (шнековым) способом	м³	-	282,6
	1	<i>Затраты труда рабочих-строителей</i>	чел.-ч	3,23	912,8
	1.1	Средний разряд работы		3,7	
	2	<i>Затраты труда машинистов</i>	чел.-ч	1,2	339,12
	3	Машины и механизмы			
	91.01.05-104	Экскаваторы одноковшовые дизельные на пневмоколесном ходу, емкость ковша 0,4 м³	маш.-ч	0,05	14,13
	91.02.04-036	Установки буровые для бурения скважин под сваи шнекового бурения, глубиной: до 30 м, диаметром до 600 мм	маш.-ч	0,43	128,52
	91.05.06-012	Краны на гусеничном ходу, грузоподъемность до 16 т	маш.-ч	0,49	138,47
	91.07.04-001	Вибратор глубинный	маш.-ч	0,63	178,04
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность: до 5 т	маш.-ч	0,23	65,0
	4	Материалы			
	02.1.01.01-0003	Глина бентонитовая	т	0,063	17,80
	03.2.01.01-0001	Портландцемент общестроительного назначения бездобавочный, марки: 400	т	0,14	39,56
	08.3.03.06-0002	Проволока горячекатаная в мотках, диаметром 6,3-6,5 мм	т	0,00024	0,07
	11.2.13.04-0011	Щиты: из досок толщиной 25 мм	м²	0,28	79,128
	23.3.01.04-0035	Трубы бесшовные обсадные из стали группы Д и Б с короткой треугольной резьбой, наружным диаметром: 219 мм, толщина стенки 8,9 мм	м	0,025	7,07
	25.1.01.05-0032	Шпалы пропитанные для железных дорог широкой колеи, обрезные и необрезные: лиственничные, тип 2	шт.	0,21	59,35

	01.4.03.06	Расход бурового инструмента	компл.		1
	04.1.02.06	Бетон	м ³	-	282,6
	07.2.07.02	Кондуктор инвентарный металлический	шт.	0,0015	0,42
	08.4.02.03	Каркасы арматурные	т	-	14,15

ЛОКАЛЬНАЯ РЕСУРСНАЯ СМЕТА № 1

на производство работ по устройству 100 буронабивных свай
длиной 10 м, диаметром 600 мм

Сметная стоимость 505,24 тыс. руб.

Средства на оплату труда 40,67 тыс. руб.

№ п.п.	Шифр, номера нормативов и коды ресурсов	Наименование работ и затрат, характеристика оборудования и его масса, расход ресурсов на единицу измерения	Единица измерения	Количество единиц по проектным данным	Сметная стоимость, руб.	
					на единицу	общая
1	2	3	4	5	6	7
1.1		Затраты труда рабочих-строителей	чел.-ч	912,8	39,60	36147
Машины и механизмы						
1.2	91.01.05-104	Экскаваторы одноковшовые дизельные на пневмоколесном ходу, емкость ковша 0,4 м³	маш.-ч	14,13	<u>98,90</u> 11,60	<u>1398</u> 164
	91.02.04-036	Установки буровые для бурения скважин под сваи шнекового бурения, глубиной: до 30 м, диаметром до 600 м	маш.-ч	128,52	<u>218,17</u> 13,5	<u>28039</u> 1735
	91.05.06-012	Краны на гусеничном ходу, грузоподъемность до 16 т	маш.-ч	138,47	<u>96,89</u> 13,50	<u>13416</u> 1869
	91.07.04-001	Вибратор глубинный	маш.-ч	178,04	1,90	338
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность: до 5 т	маш.-ч	65,0	<u>65,71</u> 11,60	<u>4271</u> 754
		Итого по строительным машинам и механизмам:	руб.			47462
		В том числе оплата труда машинистов:	руб.			4522
Материалы						
1.3	02.1.01.01-0003	Глина бентонитовая	т	17,80	694,44	12361
	03.2.01.01-0001	Портландцемент общестроительного назначения бездобавочный, марки: 400	т	39,56	369,41	14614
	08.3.03.06-0002	Проволока горячекатаная в мотках, диаметром 6,3-6,5 мм	т	0,07	4332,99	303
	11.2.13.04-0011	Щиты: из досок толщиной 25 мм	м²	79,128	34,15	2702
	23.3.01.04-0035	Трубы бесшовные обсадные из стали группы Д и Б с короткой треугольной резьбой, наружным диаметром: 219 мм, толщина стенки 8,9 мм	м	7,07	417,84	2954
	25.1.01.05-0032	Шпалы пропитанные для железных дорог широкой колеи, обрезные и необрезные: лиственничные, тип 2	шт.	59,35	267,81	15895
	01.4.03.06	Расход бурового инструмента	компл.	0,45	5350	2408

	04.1.02.06	Бетон	м ³	282,6	645,75	182489
	07.2.07.02	Кондуктор инвентарный металлический	шт.	0,42	342,91	144
	08.4.02.03	Каркасы арматурные	т	14,15	7463,87	105614
		Итого по материалам				339484
		Итого прямые затраты по смете				423093
		в том числе:				
		Зарплата рабочих-строителей				36147
		Машины и механизмы				47462
		В т.ч. з/пл машинистов				4522
		Материалы				339484
		Накладные расходы 137 %	$\frac{(36147 + 4522) \cdot 137}{100}$			55716
		Сметная прибыль 65 %	$\frac{(36147 + 4522) \cdot 65}{100}$			26435
		ВСЕГО ПО СМЕТЕ:				505244

ЛОКАЛЬНАЯ РЕСУРСНАЯ ВЕДОМОСТЬ № 02

на производство работ по устройству 100 буронабивных свай
длинной 10 м, диаметром 600 мм

Состав работ:

1. Перемещение буровой установки к месту бурения очередной скважины.
2. Установка и снятие направляющего кондуктора.
3. Бурение ствола.
4. Предупреждение искривления скважины.
5. Удаление выбуренного грунта.
6. Закрепление на арматурном каркасе сети датчиков.
7. Установка арматурного каркаса.
8. Монтаж и демонтаж бетонолитных труб и бункера.
9. Бетонирование ствола и головы свай.
10. Измерение удельной электрической проводимости ствола свай.

Ресурсы:

Шифр, номера нормативов и коды ресурсов	Наименование работ и затрат, характеристика оборудования и его масса	Единица измерения	Количество	
			на единицу	общая
2	3	4	5	6
ГЭСН 05-01-029	Устройство железобетонных буронабивных свай с бурением скважин вращательным (шнековым) способом	м ³	-	282,6
1	<i>Затраты труда рабочих-строителей</i>	чел.-ч	4,2	1186,9
1.1	Средний разряд работы		3,7	
2	<i>Затраты труда машинистов</i>	чел.-ч	1,35	381,51
3	Машины и механизмы			
91.01.05-104	Экскаваторы одноковшовые дизельные на пневмоколесном ходу, емкость ковша 0,4 м ³	маш.-ч	0,05	14,13
91.02.04-036	Установки буровые для бурения скважин под сваи шнекового бурения, глубиной: до 30 м, диаметром до 600 мм	маш.-ч	0,43	128,52
91.05.06-012	Краны на гусеничном ходу, грузоподъемность до 16 т	маш.-ч	0,49	138,47
91.07.04-001	Вибратор глубинный	маш.-ч	0,63	178,04
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность: до 5 т	маш.-ч	0,23	65,0
4	Материалы			
02.1.01.01-0003	Глина бентонитовая	т	0,063	17,80
03.2.01.01-0001	Портландцемент общестроительного назначения бездобавочный, марки: 400	т	0,14	39,56
08.3.03.06-0002	Проволока горячекатаная в мотках, диаметром 6,3-6,5 мм	т	0,00024	0,07
11.2.13.04-0011	Щиты: из досок толщиной 25 мм	м ²	0,28	79,128
23.3.01.04-0035	Трубы бесшовные обсадные из стали группы Д и Б с короткой треугольной резьбой, наружным диаметром: 219 мм, толщина стенки 8,9 мм	м	0,025	7,07
25.1.01.05-0032	Шпалы пропитанные для железных дорог широкой колеи, обрезные и необрезные: лиственничные, тип 2	шт.	0,21	59,35
01.4.03.06	Расход бурового инструмента	компл.		0,45
04.1.02.06	Бетон	м ³	-	282,6
	Измеритель тока (контроль параметров сети)	компл.		1
	Добавка МСМ	кг	22	6217,2
	Электроды	т.	0,035	9,9
21.1.08.02-0001	Кабель контрольный АКПСВБ 4х2,5	м	23,05	6513,9
07.2.07.02	Кондуктор инвентарный металлический	шт.	0,0015	0,42
08.4.02.03	Каркасы арматурные (стеклопластик)	м	22,37	6321,3

ЛОКАЛЬНАЯ РЕСУРСНАЯ СМЕТА № 02-01-02

на производство работ устройству 100 буронабивных свай длиной 10 м, диаметром 600 мм

Сметная стоимость 608,95 тыс. руб.

Средства на оплату труда 51,52 тыс. руб.

№ п.п.	Шифр, номера нормативов и коды ресурсов	Наименование работ и затрат, характеристика оборудования и его масса, расход ресурсов на единицу измерения	Единица измерения	Количество единиц по проектным данным	Сметная стоимость, руб.	
					на единицу	общая
1	2	3	4	5	6	7
1.1		Затраты труда рабочих-строителей	чел.-ч	1186,9	39,60	47001
Машины и механизмы						
1.2	91.01.05-104	Экскаваторы одноковшовые дизельные на пневмоколесном ходу, емкость ковша 0,4 м³	маш.-ч	14,13	$\frac{98,90}{11,60}$	$\frac{1398}{164}$
	91.02.04-036	Установки буровые для бурения скважин под сваи шнекового бурения, глубиной: до 30 м, диаметром до 600 м	маш.-ч	128,52	$\frac{218,17}{13,5}$	$\frac{28039}{1735}$
	91.05.06-012	Краны на гусеничном ходу, грузоподъемность до 16 т	маш.-ч	138,47	$\frac{96,89}{13,50}$	$\frac{13416}{1869}$
	91.07.04-001	Вибратор глубинный	маш.-ч	178,04	1,90	338
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность: до 5 т	маш.-ч	65,0	$\frac{65,71}{11,60}$	$\frac{4271}{754}$
		Итого по строительным машинам и механизмам:	руб.			47462
		В том числе оплата труда машинистов:	руб.			4522
Материалы						
1.3	02.1.01.01-0003	Глина бентонитовая	т	17,80	694,44	12361
	03.2.01.01-0001	Портландцемент общестроительного назначения бездобавочный, марки: 400	т	39,56	369,41	14614
	08.3.03.06-0002	Проволока горячекатаная в мотках, диаметром 6,3-6,5 мм	т	0,07	4332,99	303
	11.2.13.04-0011	Щиты: из досок толщиной 25 мм	м²	79,128	34,15	2702
	23.3.01.04-0035	Трубы бесшовные обсадные из стали группы Д и Б с короткой треугольной резьбой, наружным диаметром: 219 мм, толщина стенки 8,9 мм	м	7,07	417,84	2954
	25.1.01.05-0032	Шпалы пропитанные для железных дорог широкой колеи, обрезные и необрезные: лиственничные, тип 2	шт.	59,35	267,81	15895
	01.4.03.06	Расход бурового инструмента	компл.	0,45	5350	2408
	04.1.02.06	Бетон	м³	282,6	645,75	182489
	07.2.07.02	Кондуктор инвентарный металлический	шт.	0,42	342,91	144

	08.4.02.03	Каркасы арматурные	м	6321,3	3,54	22377
		Измеритель тока (контроль параметров сети)	компл	1	1433,94	1434
		Добавка МСМ	кг	6217,2	10,7	66524
		Электроды	т.	9,9	4567,22	45215
	21.1.08.02-0001	Кабель контрольный АКПсВБ 4х2,5	1000 м	6,51	6295,83	40986
		Итого по материалам				410406
		Итого прямые затраты по смете				504869
		в том числе:				
		Зарплата рабочих-строителей				47001
		Машины и механизмы				47462
		В т.ч. з/пл машинистов				4522
		Материалы				410406
		Накладные расходы 137%	$\frac{(36147 + 4860) \cdot 137}{100}$			70587
		Сметная прибыль 65 %	$\frac{(36147 + 4860) \cdot 65}{100}$			33490
		ВСЕГО ПО СМЕТЕ:				608946

Приложение Г.

Заключение об обследовании ствола свай

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

об обследовании ствола свай

ФГАОУ ВО «САФУ имени М.В. Ломоносова» 20 мая 2021 года были проведены обследования по определению длины и сплошности бетона ствола свай в свайном поле на объекте: «Новый квартал»

Заказчик испытаний:

ООО «Юбилейное»

Субподрядчик (проведение испытаний):

ФГАОУ ВО «САФУ имени М.В. Ломоносова»

Цель обследования

Цель обследования – определение длины и сплошности бетона ствола буронабивной свай.

Объект обследования

Объект обследования: буронабивная свая, изготовленная методом ВПТ, диаметром 600 мм. Проектный класс бетона ствола свай В25.

Проведение обследования

Обследование проводилось по запатентованной методике САФУ, разработанной в ходе научно-исследовательской деятельности. Метод основан на измерении удельной электрической проводимости бетонной смеси по мере заполнения скважины, значения, получаемые в ходе измерений, должны быть сопоставимы, с предварительно установленной удельной электрической проводимостью смеси.

Контроль сплошности бетона и длины свай проведен в соответствии с технологическим регламентом на выявление и устранение дефектов буронабивной свай (САФУ, 2021).

Регистрация значений осуществлялась датчиками-электродами, соединенными в единую сеть, закрепленную на арматурном каркасе.

Для получения достоверной информации, измерения по каждому датчику снимались не менее чем в 3-х различных направлениях.

Зарегистрированные значения фиксировались в памяти компьютера для последующей обработки и анализа.

Результаты обследования

Результаты обработки данных представляются на компьютере в графическом виде с указанием длины сваи, сплошности материала и наличия дефектов.

Результаты измерений приведены в таблице:

№ п/п	№ сваи	Дата бетонирования	График	Длина сваи по результатам проверки, м	Результаты контроля сплошности ствола сваи
1	Свая 2	20.05.2021		7,5	Недопустимых дефектов не обнаружено. Обследование проводилось с отм. 7,15. Обнаружено локальное изменение электропроводящих свойств в основании сваи, площадью до 10% от площади поперечного сечения сваи.

Выводы

1. В обследованной свае дефектов при бетонировании не обнаружено, сплошность бетона ствола сваи обеспечена.

От ООО «Юбилейное»
Директор



А.В. Смирнов

От САФУ имени М.В. Ломоносова

Директор
Высшей инженерной школы



С.Е. Аксенов

Зав. кафедрой композиционных
материалов и строительной экологии

А.М. Айзенштадт

Ассистент

М.А. Авдушева

Приложение Д.
Технический регламент на выявление и устранение дефектов
бурунабивной сваи

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
 "Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова"

Высшая инженерная школа

УТВЕРЖДАЮ
 Директор
 Высшей инженерной школы
 _____ С.Е.Аксенов /
 «21» _____ 2021 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
 на выявление и устранение дефектов бурунабивной сваи

РАЗРАБОТАН:

Научный руководитель:

Заведующий кафедрой КМиСЭ,
 доктор химических наук, профессор

_____ А.М. Айзенштадт
 «21» _____ 2021 г.

Исполнители:

Доцент, кандидат технических наук

_____ В.Е. Данилов
 «21» _____ 2021 г.

Ассистент

_____ М.А. Авдушева
 «21» _____ 2021 г.

Архангельск, 2021

Приложение Е.
Стандарт организации СТО 01-12.7-2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова"

Высшая инженерная школа

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ
Директор
Высшей инженерной школы
С.Е. Аксенов /
20 21 г.



МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКАЯ СУСПЕНЗИЯ МАГНЕТИТА

Технические условия
СТО 01-12.7-2021

РАЗРАБОТАН:

Научный руководитель:

Заведующий кафедрой КМиСЭ,
доктор химических наук, профессор

_____ А.М. Айзенштадт

« 21 » _____ 20 21 г.

Исполнители:

Доцент, кандидат технических наук

_____ В.Е. Данилов

Ассистент

_____ М.А. Авдушева

Архангельск, 2021

Приложение Ж.
Объекты интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 642 760**⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК
E02D 33/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E02D 33/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017112617, 12.04.2017 (24) Дата начала отсчета срока действия патента: 12.04.2017 Дата регистрации: 25.01.2018 Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 12.04.2017 (45) Опубликовано: 25.01.2018 Бюл. № 3 Адрес для переписки: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, N 05.1.8.2, инженеру по патентной и изобретательской работе САФУ Быстрицкой Е.А.	(72) Автор(ы): Авдушева Мария Алексеевна (RU), Невзоров Александр Леонидович (RU), Айзенштадт Аркадий Михайлович (RU) (73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова" (САФУ) (RU) (56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2538362 C1, 10.01.2015. RU 2257563 C2, 27.07.2005. RU 2364852 C1, 20.08.2009. RU 2165495 C1, 20.04.2001. US 7637166 B2, 29.12.2009.
---	---

RU 2 642 760 C 1

RU 2 642 760 C 1

(54) СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗГОТОВЛЯЕМОЙ В ГРУНТЕ СВАИ
(57) Реферат:

Изобретение относится к строительству, а именно к технологии изготовления буровых и набивных свай. Способ выявления и устранения дефектов изготавливаемой в грунте сваи включает формирование скважины, установку в нее арматурного каркаса, прокладку линий связи, подачу в скважину отверждаемого состава, например бетонной смеси. Перед установкой арматурного каркаса на нем закрепляют электроды и соединяют их с линиями связи. После подачи в скважину отверждаемого состава

осуществляют мониторинг его электропроводности, а при обнаружении дефекта ствола выполняют частичную откачку отверждаемого состава, устраняют дефект и повторно подают отверждаемый состав в скважину. Технический результат состоит в повышении надежности изготавливаемых в грунте свай за счет обеспечения возможности контроля сплошности ствола и устранения дефектов в процессе производства работ. 1 табл., 4 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19)

RU

(11)

2 642 762⁽¹³⁾ C1

(51) МПК

E02D 27/08 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

E02D 27/08 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017107922, 10.03.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.03.2017Дата регистрации:
25.01.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.03.2017

(45) Опубликовано: 25.01.2018 Бюл. № 3

Адрес для переписки:

163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины,
17, N 05.1.8.2, инженеру по патентной и
изобретательской работе САФУ Быстрицкой
Е.А.

(72) Автор(ы):

Авдушева Мария Алексеевна (RU),
Невзоров Александр Леонидович (RU),
Айзенштадт Аркадий Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Северный (Арктический)
федеральный университет имени М.В.
Ломоносова" (САФУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2572477 C1, 10.01.2016. RU
2199628 C1, 27.02.2003. RU 2103441 C1,
27.01.1998. RU 2354778 C2, 10.05.2009. RU
2119009 C1, 20.09.1998. EP 0264998 A1,
27.04.1988.

(54) СПОСОБ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТА

(57) Реферат:

Изобретение относится к строительству и, в частности, к инъекционному закреплению бутовой кладки фундамента при реконструкции зданий и сооружений. Способ усиления фундамента включает проходку в нем скважины, установку трубы-инъектора и нагнетание закрепляющего состава. После установки трубы-инъектора вдоль боковой поверхности с двух сторон фундамента и в ранее выполненную скважину, через которую уже осуществлена инъекция, погружают электроды. В

закрепляющий состав вводят добавку порошка электропроводного материала, а в ходе нагнетания закрепляющего состава измеряют электрическое сопротивление тела фундамента между трубой-инъектором и каждым из электродов. Технический результат состоит в повышении надежности инъекционного закрепления бутовой кладки фундамента за счет обеспечения возможности контроля качества в процессе производства работ. 1 табл., 4 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 642 977**⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК
G01L 9/02 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01L 9/02 (2017.08)

(21)(22) Заявка: 2017112681, 12.04.2017
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.04.2017
Дата регистрации:
29.01.2018
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 12.04.2017
(45) Опубликовано: 29.01.2018 Бюл. № 4
Адрес для переписки:
163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины,
17, N 05.1.8.2, САФУ, инженеру по патентной и
изобретательной работе Быстрицкой Е.А.

(72) Автор(ы):
Авдушева Мария Алексеевна (RU),
Невзоров Александр Леонидович (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Северный (Арктический)
федеральный университет имени М.В.
Ломоносова" (САФУ) (RU)
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1840407 A1, 20.11.2006. SU
100109 A1, 01.01.1955. CN 104748894 A,
01.07.2015. US 2002194922 A1, 26.12.2002.

(54) ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТАХ

(57) Реферат:
Датчик включает в себя корпус из тонкого
эластичного материала, во внутренней полости
которого размещаются электроды и
искусственный грунт, приготовленный из
природного грунта путем замещения одной из
фракции твердых частиц порошком
электропроводного вещества тех же размеров.
Искусственный грунт уплотняется до достижения
коэффициента пористости, равного коэффициенту
пористости вмещающего его грунта. Напряжения,
возникающие в основании сооружений, вызывают

сжатие и, как следствие, увеличение
электропроводности искусственного грунта в
полости датчика. По результатам замеров
электропроводности с помощью предварительно
полученной градуировочной зависимости
определяют значения напряжений. Конструкция
датчика исключает искажение исследуемого
напряженного состояния основания из-за
концентрации напряжений во вмещающем его
грунте. 2 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU (11)

2 611 167⁽¹³⁾ C1(51) МПК
E02B 3/16 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015153930, 15.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.12.2015Дата регистрации:
21.02.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.12.2015

(45) Опубликовано: 21.02.2017 Бюл. № 6

Адрес для переписки:

163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины,
17, N 04.1.6.11, САФУ, инженер по патентной и
изобретательской работе

(72) Автор(ы):

Невзоров Александр Леонидович (RU),
Авдушева Мария Алексеевна (RU),
Кузяков Николай Юрьевич (RU),
Хабаров Юрий Германович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Северный"
(Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова" (САФУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2291180 C2, 10.01.2007. SU
1613525 A1, 15.12.1990. RU 2473744 C2,
27.01.2013. US 45001788A, 28.02.1985.(54) СПОСОБ СОЗДАНИЯ НАКОПИТЕЛЯ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ НА СИЛЬНО
ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к гидротехническим сооружениям и может быть использовано при создании накопителей отходов промышленных предприятий. Способ включает подготовку основания путем отсыпки дренирующего грунта с уклоном от центра к периферии на величину, равную половине прогнозируемой разности осадки основания. Затем выполняется планировка поверхности дна накопителя уступами и укладка водонепроницаемой геомембраны, состоящей из герметично соединенных полотнищ. Далее в накопителе выдерживается жидкость (вода или глинистый раствор) до момента достижения заданной степени консолидации основания. После ее откачки выполняется проверка герметичности

геомембраны путем последовательного выполнения нескольких операций: сканирования основания с поверхности геомембраны с помощью физических измерений, подачи в накопитель индикаторной жидкости, ее выдержки, последующей откачки и повторного сканирования основания. По завершении проверки следуют устранение дефектов геомембраны и укладка защитного слоя. Способ позволяет обеспечить герметичность экрана за счет предварительной консолидации основания и контроля его целостности, повышая тем самым эксплуатационную надежность накопителя. 2 з.п. ф-лы, 8 ил.

RU 2 611 167 C1

RU 2 611 167 C1