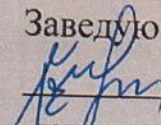


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экология и безопасности жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Т. А. Кулагина

подпись

инициалы, фамилия

« 26 » 06 2017г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Применение химически активных отходов производства  
для тампонажных растворов

Тема

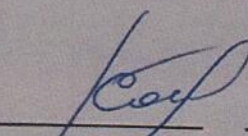
20.04.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

  
подпись, дата

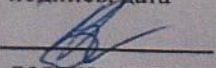
канд. техн. наук

должность, ученая степень

С.В. Комонов

инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

Д.П. Баракhtина

инициалы, фамилия

Рецензент

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

канд. техн. наук

должность, ученая степень

А.И. Лобанов

инициалы, фамилия

Красноярск 2017

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ  
РАБОТУ**

**в форме магистерской диссертации**

Студенту Барахтиной Дарьи Павловне

Группа ФЭ15-07М

Направление (специальность) 20.04.01 «Техносферная безопасность»  
программа 20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Тема выпускной квалификационной работы: «Применение химически  
активных отходов производства для тампонажных растворов»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР С.В.Комонов канд. техн. наук. ПИ СФУ кафедра «ИЭ и  
БЖД»

Исходные данные для ВКР: нормативно-правовая база; справочная  
литература; учебная литература.

Перечень разделов ВКР:

1 Общие сведения, литературный обзор

2 Экспериментальные исследования образцов

3 Расчет рисков возникающих на магистральном нефтепроводе

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием  
основных чертежей, плакатов, слайдов:

Лист 1 – Карта-схема месторождения

Лист 2 – Цементирование скважин в разрезе.

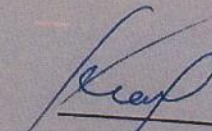
Лист 3 – Таблица характеристик, используемых добавок в растворе в  
таблице.

Лист 4 – Результаты лабораторных исследований в сравнении, в  
графиках.

Лист 5 – Результаты лабораторных исследований в сравнении, в  
графиках.

Научный руководитель

Задание принял к исполнению



подпись, дата  
фамилия



подпись, дата  
фамилия

С.В.Комонов

инициалы,

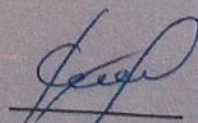
Д.П.Барахтина

инициалы,

**КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК**  
выполнения этапов ВКР

Сроки выполнения	Наименование и содержание этапа
10.10.2015 – 10.12.2015	Литературный обзор ранее использованных или предложенных химически активных отходов, в качестве добавки в тампонажные растворы.
12.01.2016 – 12.05.2016	Продолжения исследования литературы, патентов, книг и статей по тампонированию. Выбор химически активного отхода для тестирования.
16.10.2016 – 12.12.2016	Тестирование растворов, проведение аналогий с существующими добавками.
12.01.2017 – 17.03.2017	Оформление лабораторных исследований и дорасчет последних испытаний.
20.04.2017 – 12.05.2017	Работа над нормативно – правовой документацией; оформление пояснительной записки.
17.05.2017 – 10.06.2017	Графическое оформление чертежей и оформление прочей документации и доклада.

Научный руководитель



подпись, дата  
фамилия

С.В.Комонов

инициалы,

Задание принял к исполнению



подпись, дата  
фамилия

Д.П.Баракhtина

инициалы,

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экология и безопасности жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

Т. А. Кулагина

подпись                      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Применение химически активных отходов производства  
для тампонажных растворов

Тема

20.04.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель \_\_\_\_\_

подпись, дата

канд. техн. наук

должность, ученая степень

С.В.Комонов

инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_

подпись, дата

Д.П.Барахтина

инициалы, фамилия

Рецензент \_\_\_\_\_

подпись, дата

должность, ученая степень

Лобанов А.И.

инициалы, фамилия

Красноярск 2017

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ  
РАБОТУ  
в форме магистерской диссертации**

Студенту Барахтиной Дарьи Павловне

Группа ФЭ15-07М

Направление (специальность) 20.04.01 «Техносферная безопасность»  
программа 20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Тема выпускной квалификационной работы: «Применение химически активных отходов производства для тампонажных растворов»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР С.В.Комонов канд. техн. наук. ПИ СФУ кафедра «ИЭ и БЖД»

Исходные данные для ВКР: нормативно-правовая база; справочная литература; учебная литература.

Перечень разделов ВКР:

1 Общие сведения, литературный обзор

2 Экспериментальные исследования образцов

3 Расчет рисков возникающих на магистральном нефтепроводе

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов:

Лист 1 – Карта-схема месторождения

Лист 2 – Цементирование скважин в разрезе.

Лист 3 – Таблица характеристик, используемых добавок в растворе в таблице.

Лист 4 – Результаты лабораторных исследований в сравнении, в графиках.

Лист 5 – Результаты лабораторных исследований в сравнении, в графиках.

Научный руководитель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата  
фамилия

С.В.Комонов

инициалы,

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
подпись, дата  
фамилия

Д.П.Барахтина

инициалы,

**КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК**  
выполнения этапов ВКР

Сроки выполнения	Наименование и содержание этапа
10.10.2015 – 10.12.2015	Литературный обзор ранее использованных или предложенных химически активных отходов, в качестве добавки в тампонажные растворы.
12.01.2016 – 12.05.2016	Продолжения исследования литературы, патентов, книг и статей по тампонированию. Выбор химически активного отхода для тестирования.
16.10.2016 – 12.12.2016	Тестирование растворов, проведение аналогий с существующими добавками.
12.01.2017 – 17.03.2017	Оформление лабораторных исследований и дорасчет последних испытаний.
20.04.2017 – 12.05.2017	Работа над нормативно – правовой документацией; оформление пояснительной записки.
17.05.2017 – 10.06.2017	Графическое оформление чертежей и оформление прочей документации и доклада.

Научный руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата  
фамилия

С.В.Комонов

инициалы,

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись, дата  
фамилия

Д.П.Барахтина

инициалы,

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Общие сведения.....	8
1.1 Основы цементирования скважин.....	8
1.2 Литературный обзор ранее тестируемых химически активных отходов в тампонажных растворах .....	13
2. Экспериментальные данные .....	24
2.1 Общие характеристики работы.....	24
2.2 Описание тестируемых растворов.....	29
2.3 Генерирование блендов .....	38
2.4 Реологические свойства растворов. ....	41
2.5 Время загустевания.....	50
2.6 Прочность на сжатие .....	57
2.7 Определение фильтрационных потерь (водоотдача) .....	60
2.8 Определение водоотделения.....	64
2.9 Определение герметичности.....	60
3 Расчётная часть.....	68
3.1 Расчёт показателей риска аварии на магистральном нефтепроводе .....	60
3.2 Оценка экологического ущерба от загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами .....	71
3.3 Экономическая эффективность .....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ <b>Error! Bookmark not defined.</b>	

## ВВЕДЕНИЕ

*Цель:* разработка и исследование тампонажного раствора с применением отходов производства золы-уноса и отхода от стеклобоя в цементной композиции

*Задачи:*

1. Обзор литературы в области цементирования скважин с применением отходов.
2. Исследование месторождения, соответствующего выбранным отходам в цементной композиции;
3. Тестирование растворов в лабораторных условиях на: прочность, время загустевания, реологические свойства, водоотделение, водоотдачу с надлежащими требованиями.
4. Анализ полученных результатов.

*Актуальность*

Проблема накопления отходов становится все более значимой в условиях производства и использования огромного числа химических веществ. За последние пару лет нормативные акты в области обращения с отходами претерпевают постоянные изменения, уже в 2017 году были приняты новые, более жесткие, методические указания по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение [1].

Ежегодно в промышленности, накапливаются тонны отходов производства, временное их складирование на площадках, обустроенных в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды, в целях их дальнейшего использования, размещения, является временной мерой, а сроки их накопления утверждаются территориальными органами Минприроды России [2].



Все накапливаемые отходы различаются по своей природе и к каждому можно найти свой подход и правильное вторичное применение. Типы вторично – используемых отходов:

- химически не активные – это инертные отходы, которые могут использоваться, как дополнительные наполнители к материалам.

- химически – активные – это отходы, которые в процессе каких-либо действий вступают в реакцию с различными веществами, образуя новые соединения.

Практика по внедрению отходов производства в другие направления уже давно практикуется, например, химические отходы послужили сырьём, из которого учёные ТПУ (г. Томск) создали новый вид пластмассы – более прочной, более гибкой и упругой, чем пластмасса обычная. В строительных компаниях уже много лет применяют практику внедрения безопасных отходов в строй материалы, примером этого – шлакоблоки, для снижения себестоимости материала добавляют золу, щебень или другие доступные отходы промышленных объектов. Благодаря использованию отходов, строительство из шлакоблоков гораздо выгоднее аналогичного из пенобетона или керамического кирпича и др. Исходя из этого изучение данного направления активно развивается и даёт свои результаты, ведь человечество с давних времён занималось вторичным применением отходов производства, чтобы уменьшать их объём без вреда окружающей среде.

*Новизна.* Получены данные многофункционального раствора, который не только отвечает всем требованиям цементирования, а так же утилизирует отходы производства, входящие в состав бленда в виде добавок. Данная работа рассчитана на сокращение объемов отходов производства, а так же на уменьшение экономических расходов в цементных растворах. Впервые используется новая технология разноразмерных частиц разработанная компанией Schlumberger в 2011 году с тампонажным раствором , содержащим химически активные отходы производства.

*Практическая значимость* работы заключается в возможности применения исследуемой композиции в мировой нефтегазовой промышленности, так как растворы тестировались по методикам и стандартам тампонажных растворов международных стандартов American Petroleum Institut и ПетроАльянса, которых придерживаются многие компании еще с 1978 года, что позволит продемонстрировать концепцию по сокращению отходов производства путем использования их в любой нефтегазовой отрасли.

## **1 Общие сведения 3**

### **1.1 Основы цементирования скважин**

Тампонажные работы являются заключительным этапом бурения. Процесс заключается в том, что в затрубное пространство обсадной колонны вводится цементный (тампонажный) состав, после чего в течение нескольких суток происходит его затвердевание. В результате раствор превращается в камень – монолитную «рубашку», в которую заключена обсадная колонна скважины.

Комплекс таких работ направлен на обеспечение максимального срока службы сооружения. Это продиктовано следующими причинами:

- необходимость изолировать каждую нефтегазоносную область. Это делается для того, чтобы исключить возможность смешивания сырья и воды из разных пластов;

- обеспечение высокой стойкости от коррозии, которая возникает в результате воздействия почвенной влаги на металл;

- важность повышения прочности всего сооружения – цементирование позволяет снизить влияние движения грунтов на скважину.

Процесс цементирования скважины состоит из двух основных операций: первичного цементирования и ремонтно-изоляционного цементирования [1].

Первичное цементирование – важнейшая операция в процессе строительства скважины. Цементная оболочка образует гидравлический затвор, обеспечивающий разобщение пластов, не допускающий сообщение флюидов продуктивных пластов в стволе скважины и блокирующий их выход на поверхность. Цементная оболочка также служит креплением и опорой обсадной колонны и защитой ее стальных труб от коррозионного воздействия пластовых жидкостей. Невыполнение этих задач

может серьезно ограничить потенциальную производительность скважины и ее эксплуатацию в полном проектом объеме.

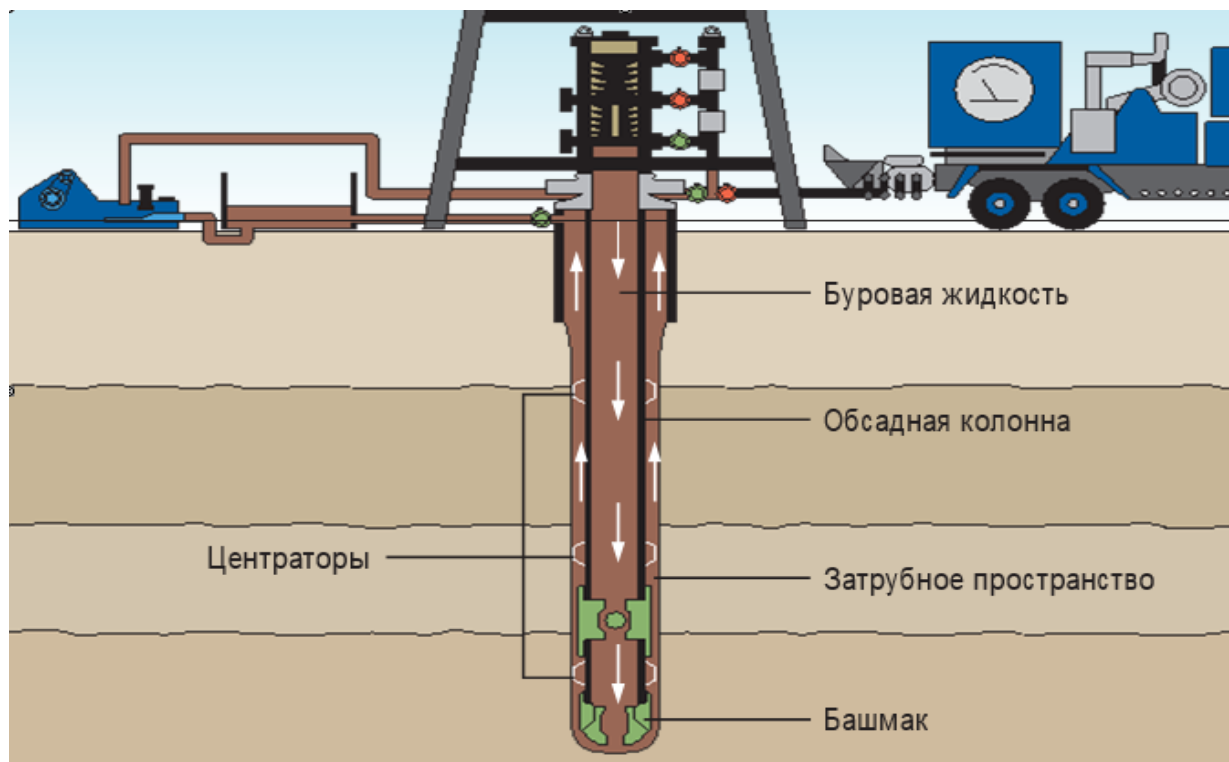


Рисунок 1.1 – Закачка раствора по циркуляционной схеме

Почти во всех операциях цементирования используется портландцемент, состоящий главным образом из безводных силикатов и алюминатов кальция, дающих подвижный раствор при смешении с водой. Продукты гидратации, в основном, гидросиликаты кальция, обеспечивают прочность и низкую проницаемость, необходимую для разобщения пластов.

По окончании операции цементирования и затвердения цемента инженеры часто проводят испытания на соответствие целостности и функциональных свойств цементной оболочки требуемым проектным критериям. Методы оценки цементирования включают лабораторные испытания и различные методы скважинного каротажа.

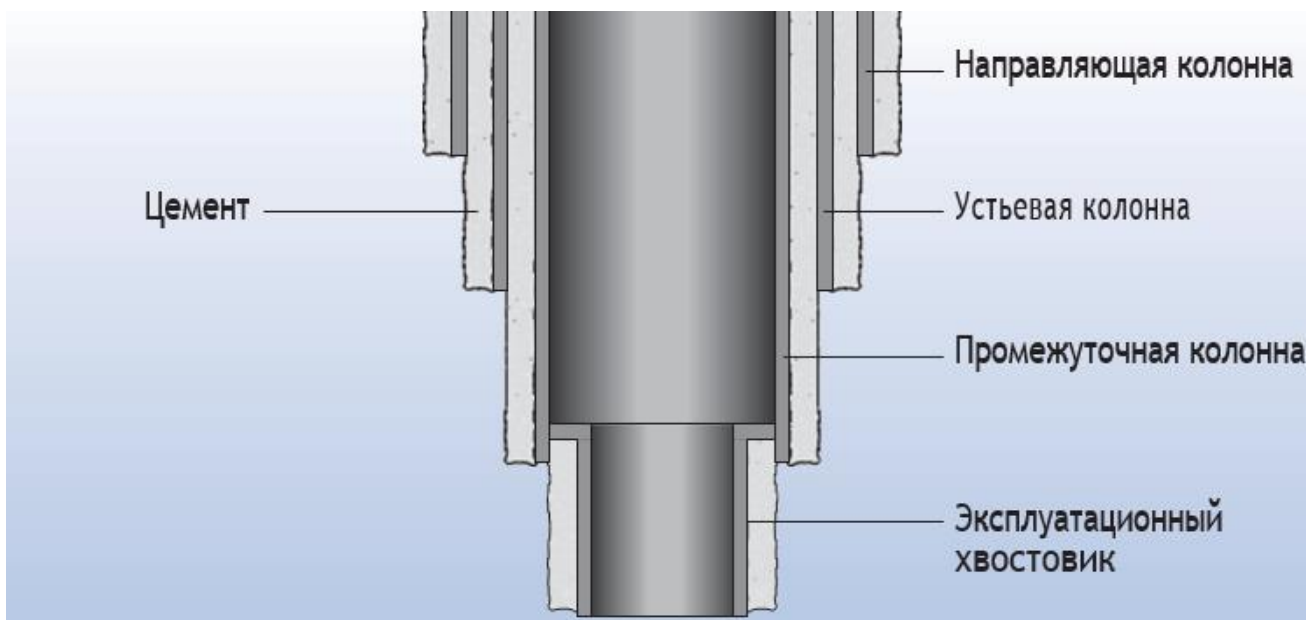


Рисунок 1.2 – Расположение цементного раствора в скважине

Технология цементирования скважин применяется уже больше 100 лет. Тем не менее, химики и инженеры продолжают разрабатывать новые идеи, материалы и технологии в ответ на постоянно меняющиеся потребности энергетической отрасли. Например, важной темой исследований и разработок является проблема долговечности разобщения пластов в течение и по окончании срока эксплуатации скважины.

Условия, в которые попадает портландцемент в разных скважинах, сильно отличаются от условий окружающей среды на поверхности, в которых существуют здания, мосты и дороги. Цемент в скважинах применяется в условиях большого разброса температурных значений – от минусовых температур в зонах вечной мерзлоты до температур, превышающих 400°C (752°F) в геотермальных скважинах. Поэтому производители цемента предлагают специальные модификации портландцемента для скважин. Кроме того, для получения нужных свойств цемента предлагается более тысячи специальных добавок, позволяющих инженерам

привести свойства цемента в соответствие с условиями бурения конкретных скважин. Главная задача – получить формулу цемента, при которой цемент поддавался бы времени закачки, достаточного для заполнения затрубного пространства, упрочнения через несколько часов после закачки и сохранения прочности в течение всего срока эксплуатации скважины.

Добавки можно классифицировать по их функциональному назначению:

- ускоряющие – сокращают время затвердевания цемента и увеличивают скорость наращивания устойчивости к сжимающим нагрузкам;
- замедляющие – продлевают время затвердевания и период времени, когда цементный раствор поддается перекачиванию;
- расширяющие – уменьшают плотность цементного раствора или снижают количество цемента на единицу объема затвердевшего продукта;
- утяжеляющие – увеличивают плотность цемента;
- понижающие фильтрацию – контролируют утечку воды из цементного раствора в пористые пласты, сохраняя проектные свойства цементного раствора;
- уменьшающие поглощение – ограничивают фильтрацию всего цементного раствора из скважины в слабоцементированные, трещиноватые или кавернозные пластовые породы и способствуют полному заполнению им затрубного пространства;
- диспергенты снижают вязкость цементного раствора, что позволяет снизить давление его закачки.

Все вышеперечисленные компоненты имеют свои свойства, поэтому требуют соблюдения особой (либо определённой, соответствующей) технологии производства для получения желаемых характеристик. Существует много компаний, которые этим занимаются:

- «Миррико» – производит реагенты для нефтедобычи, транспорта и подготовки нефти, сервис буровых растворов, сервис водооборотных систем, повышение нефтеотдачи [9];

- «ХимПром» – активно занимается научно-исследовательскими работами в области химии, энергоэффективности и экологии [10];

- «ПромХим» – занимается оптовой реализацией промышленной химии, химического сырья, реагентов для водоочистки, реагентов для бурения и нефтегазовой добычи [11] и др.

Современные цементные системы могут содержать эластичные частицы и волокна, обеспечивающие устойчивость затвердевшего цемента к большим механическим нагрузкам. Самые современные «самозалечивающиеся» цементные системы содержат «интеллектуальные» материалы, которые в случае нарушения цементной оболочки разбухают при контакте с водными или пластовыми жидкостями и восстанавливают изоляцию пластов. Конечная цель этих технологий цементирования – обеспечить устойчивость к суровым условиям эксплуатации скважины и различным нарушениям, которые могут возникать с течением времени, и обеспечить разобщение пластов на неограниченный срок.

Необходимо понимать, что качество данной инженерной задачи напрямую зависит от соблюдения технологических процессов, корректности расчета и ответственности персонала. Тампонажники должны полностью соблюдать требования к цементированию нефтяных и газовых скважин. Необходимо уделить внимание и материалам, которые будут использованы в рабочем процессе. Это позволит заметно увеличить продолжительность службы глубинных конструкций в процессе эксплуатации.

## **1.2 Литературный обзор ранее тестируемых химически активных отходов в тампонажных растворах**

В настоящее время цементные присадки активно разрабатываются, и на рынке регулярно появляются новые усовершенствованные продукты и усовершенствованные бленды. Бленд – это смесь уже взвешенных различных реагентов и цемента. Многочисленные попытки замены цементных добавок на высококачественные химические растворы показали их высокую стоимость, что обусловило область исследования для более экономичных композиций.

Например, в качестве такой добавки может быть использована зола гидроотвалов или зола сжигания водоугольного топлива. Результаты предварительных исследований тампонажных растворов с добавками отходов углеобогащения, а так же перспективность их использования показали в Кузбасском государственном техническом университете имени Т.Ф. Горбачева в городе Кемерово в 2012 году [2].

По методике, приведенной в их работе [3], с применением ротационного вискозиметра Brookfield модели LVDV-II+Pro исследованы реологические свойства тампонажных растворов с добавлением золы сжигания водоугольного топлива, сухой золы-уноса, и золы гидроотвала с добавкой жидкого стекла.

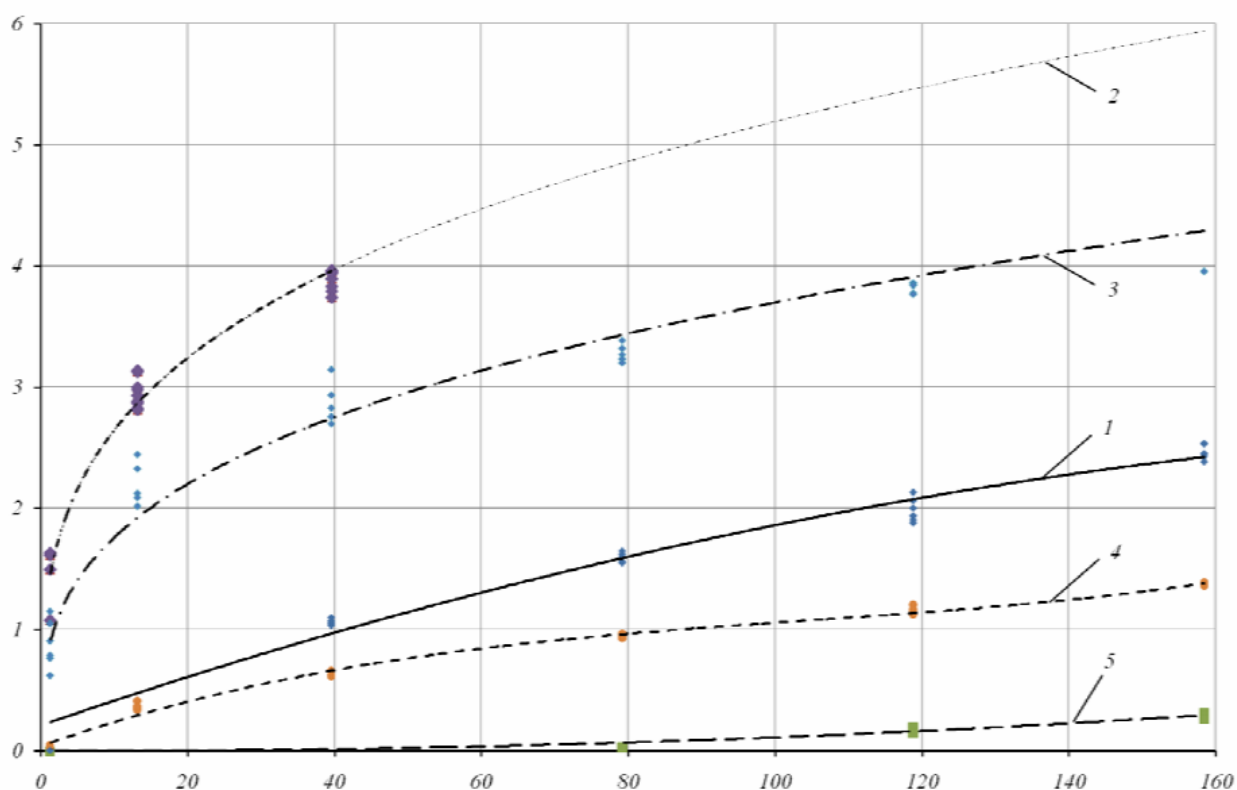
Из их результатов видно, что для раствора без добавок зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига близка к линейной. Добавление жидкого стекла к цементному раствору приводит к возрастанию его эффективной вязкости и проявлению псевдопластичного характера течения. При скорости сдвига выше  $39,6 \text{ с}^{-1}$  измерить вязкость данного раствора оказалось технически не возможно (данной измерительной системой при данных условиях).

Жидкое стекло практически не реагирует с сухой золой и реологические свойства растворов с концентрацией золы 50 % и более практически не отличаются



от свойств этих же растворов без добавки жидкого стекла и близки со свойствами «чистого» цементного раствора.

Зола гидротвала так же слабо реагирует с жидким стеклом. Её добавление в растворы с концентрацией 50 % и более приводит к незначительному увеличению вязкости в сравнении с теми же растворами с жидким стеклом. При этом значения коэффициента эффективной вязкости остаются ниже аналогичных значений для растворов на основе цемента без добавок.



1 – без добавок; 2 – 5% жидкого стекла (без золы); 3 – 20 % золы + 5% жидкого стекла; 4 – 50 % золы + 5 % жидкого стекла; 5 – 100 % золы + 5 % жидкого стекла (без цемента)

Рисунок 1.3 – Результаты реологических свойств блендов

Из данных результатов можно сделать вывод, что добавка в раствор золы сжигания водоугольного топлива (без жидкого стекла) приводит к резкому возрастанию эффективной вязкости и значительному отличию характера течения такого раствора от характера течения раствора без добавок. Наибольший эффект наблюдается у растворов с добавлением золы сжигания водоугольного топлива и золы-уноса (с концентрацией золы  $< 50\%$ ), наименьший – у растворов с высоким содержанием золы гидроотвалов.

Одной из самых интересных работ на тему добавления золы-уноса в цементные растворы является работа учёных японского университета Киусу.

В 2008 году Андо Такаси, Хирадзима Цуйоси, Нонака Мориясу и Осако Юдзи предложили способ получения полых частиц низкой плотности для эффективного массового производства этих частиц с дополнительными свойствами, с использованием в качестве сырья угольной золы, образующейся при сгорании порошкового угля [4].

Способ получения полых частиц низкой плотности включает: использование в качестве сырья угольной золы, которую получают при сжигании угля, установление оптимального размера частиц путем отбора образца из угольной золы и изучение, по меньшей мере, распределения размеров ее частиц и количественного отношения указанных полых частиц низкой плотности, распределение угольной золы просеиванием или распределение при указанном заранее заданном размере частиц в сухом виде для обогащения указанных полых частиц низкой плотности в классифицированном крупнодисперсном материале, разделение по плотности классифицированного крупнодисперсного материала в сыром виде с получением компонентов низкой плотности и дегидратацию и сушку указанных компонентов низкой плотности. Угольной золой является летучая зола, собранная из котла сжигания порошкового угля.

Согласно изобретению распределением угольной золы в качестве сырья можно обогатить полые частицы низкой плотности, содержащиеся в угольной золе,

чтобы тем самым значительно уменьшить количество летучей золы, которое должно быть подвергнуто разделению по плотности в сыром виде, посредством которого могут быть эффективно массово получены полые частицы низкой плотности с дополнительными свойствами, с чем можно согласиться.

На всех локациях на данный момент используется летучая зола и с каждым годом её пробуют испытывать всё в новых и в новых растворах.

Очень много предложений по использованию отходов производства в тампонажных растворах. Например, в 2008 году в научно-технологическом центре в городе Стерлитамак, А.А. Шатовым было вынесено предложение по утилизации твёрдых отходов содового производства [5]. Твёрдые отходы кальция и карбонат-содержащие отходы ежегодно увеличиваются, дистиллярная жидкость в объёме 9-10 м<sup>3</sup>/т соды, сбрасывается в накопители, так называемые «белые моря», где твёрдые отходы 200-250 кг/т соды (ТОС) складировуются. Исследования показали, что при обжиге ТОС с кремнесодержащим компонентом происходит диссоциация карбоната кальция и последующее взаимодействие оксида кальция с кремнезёмом с образованием двухкальциевого силиката. Присутствие в составе вяжущего раствора определенного количества несвязного в белитовую фазу активного оксида кальция способствует обеспечению седиментационной устойчивости и объёмному расширению в начальной стадии твердения, чего требуют свойства некоторых скважин. Совместный помол продукта обжига с клинкером портланд цемента позволяет модифицировать тампонажные растворы. Таким образом, использование ТОС на различных стадиях изготовления вяжущего раствора позволяет повысить изоляционные свойства тампонажных растворов и обеспечить надежность разоблащения пластов с различными термобарическими условиями.



Рисунок 1.4 – Твёрдые отходы кальция

Для обеспечения необходимой растекаемости тампонажного раствора и снижения энергоёмкости процесса помола предложено вводить в сырьевую смесь и в жидкость затворения добавки-пластификаторы. Это тоже уже давно используется в практике, особенно на колонны где требуется контролируемое расширения междутрубного пространства.

Так же вторичным использованием промышленных отходов занимаются множество компаний, одна из таких ООО «ПромУтилизация», город Ульяновск, с лицензией 2010 года и по сегодняшний день. В услугах данной компании есть глава по утилизации гальваношламов, в виде добавки к цементным растворам [6].

Гальваническое производство состоит из последовательности электрохимических процессов, в результате которых образуются растворимые либо нерастворимые осадки – гальваношламы, требующие утилизации.

Гальваническое производство выпускает на рынок большое количество покрытий – хромированные, никелированные, оцинкованные и другие, в связи с чем количество гальванических отходов довольно обширно, что создает еще две проблемы – утилизация травильных веществ и утилизация гальваношламов.

Сложность в утилизации отходов гальванического производства заключается в том, что отходы делятся на несколько категорий:

- Осадки травильных и гальванических производств, образующиеся в очистных сооружениях, (т. н. гальваношламы в необезвоженном и обезвоженном виде);
- Электролиты различного назначения и травильные растворы.

В зависимости от категории отходов применяются различные технологии их утилизации.

Электролиты каждого производства имеют свой собственный состав, поэтому для каждого класса применяются специализированные методы утилизации. К примеру, утилизация травильных веществ и гальванических электролитов производится в специальных реакторах, в которых нейтрализуется их щелочность, после чего производится связывание металлов в нерастворимые осадки. Полученную массу формируют и грузят в контейнеры, после чего она используется в производстве цементных блоков как добавка.

Хромсодержащие электролиты утилизируются чуть сложнее, но выходной продукт также безвреден для окружающей среды и используется точно так же, как и продукт разложения металлсодержащих электролитов.

Другой метод применяется при утилизации гальваношламов, содержащихся в очистных сооружениях предприятий. На предприятии они находятся в жидком состоянии, поэтому первая задача – отделить твердые частицы от жидкости. Для этого используется специальная установка, которая промывает каналы, а полученный раствор пропускает через систему сборников и фильтров.



Рисунок 1.5 – Гальваношлам в обезвоженном виде.

После отделения твердых частиц (обезвоженные гальваношламы) они направляются на заводы по производству стройматериалов как добавка к цементу. Но не смотря на положительные стороны его применения, есть и отрицательные, так как утилизация таких отходов гальванического производства, как соли, шламы и электролиты, содержащие соединения циана, зачастую производится прямо на предприятии в связи с тем, что эти соединения крайне ядовиты, и нельзя допускать даже минимальной утечки в процессе транспортировки или хранения. В то же время цианиды легко окисляются до неактивных соединений растворами, содержащими активный хлор, однако необходимо постоянно контролировать температуру и уровень pH для полной нейтрализации цианидов.

Предложенный патент в 2006 году Ляшенко Александром, Бакшутковым Вячеславом, Судаковым Вячеславом о способе получения органоминеральных

композиций, в которых предлагается производство композиционных материалов на основе органоминеральных смесей – органических полимеров с наполнителями, которые в дальнейшем могут быть использованы для получения строительных и др. материалов с заранее заданными свойствами [7].

Состав композиции: поливинилацетатная дисперсия (ПВАД), дисперсии сополимеров ПВА с этиленом, винилхлоридом и др., редиспергируемые порошки на их основе типа VINNAPAS (пр-во Германии, ф. Ваккер-Полимер-Системс), полиакриламид, кремнийорганические полимерные жидкости типа ГКЖ-94, алкилполисилоксаны, этиловый эфир ортокремниевой кислоты и др. - от 1,5 до 3,5% от веса сухой смеси, наполнитель – неорганический (портландцемент марки «500-Д-О» завода Вольск – цемент – 85-150 в.ч.) в смеси с неорганическими добавками (песок и опока Вольских карьеров, зола, отходы Вольского асбоцементкомбината и низкие сорта асбеста, гальваношлам – конечный продукт нейтрализации промстоков, зола) и жидкостью затворения.

Они производили смешение компонентов следующим образом – в аэраторе (генератор пены, состоит из компрессора производительностью 613 л/мин, пенопроизводящего механизма из 2-х резервуаров по 150 л каждый) готовится пена, которая подается в смеситель (цистерну объемом 800 л с горизонтальным двойным шнеком), куда подаются компоненты с добавками и наполнитель. После окончания процесса смешения компонентов и получения однородной смеси компонентов и наполнителя (3–4 мин), смесь винтовым насосом мощностью 5,5 кВт (статор – резиновый, ротор – металлический «червяк», производительность – 13 м<sup>3</sup>/час) высасывается из смесителя и поступает на СВЧ-активацию, осуществляемую в течение 120–240 с на кольцевом участке продуктопровода, изготовленного из полимерных труб, длиной 15 м путем СВЧ-нагрева раствора до температуры 90°С с применением СВЧ-генераторов с потоком мощности от 50 до 500 Вт/см<sup>2</sup> с глубиной проникновения СВЧ-поля от 60 до 100 мм на частотах от 915 до 5200 МГц; после СВЧ-активации раствор идет на изготовление изделий путем заливки

форм или опалубок (на высоту до 10 этажа). Один полный цикл длится 12–15 мин, за 1 смену установка, которую обслуживают 3 человека, дает 20–30 м<sup>3</sup> СВЧ-активированной безавтоклавной органоминеральной композиции, отверждение которой происходит при нормальной температуре в течение 3–6 час. После данных процедур данные композиции экологически безопасны и технически применимы не только в тампонажных растворах, но и в строительных.

Практика применения пеностекла, о которой идет речь в данной работе, так же есть в различных источниках, например, в 2014 году были опубликованы результаты ТатНИПИнефть Катеева Р. И, доказывающие, что уникальные свойства пеностекла (низкая плотность, высокая прочность, твердая абразивная поверхность гранул, низкая теплопроводность, непроницаемость, стойкость к кислотам) позволяют развивать следующие перспективные направления в области крепления скважин:

- снижение плотности тампонажного раствора до 1250–1300 кг/м<sup>3</sup>;
- цементирование высокотемпературных скважин, в том числе битумных;
- непрерывное цементирование в одну ступень без использования муфты ступенчатого цементирования [8].

Основными свойствами пеностекла для применения в качестве облегчающей добавки в тампонажные растворы для крепления скважин являются его высокая прочность на сжатие, низкая плотность, возможность использования в высоком температурном диапазоне. Также важной особенностью гранул является их твердая абразивная поверхность, способствующая лучшему сцеплению цементного камня с колонной и породой; способность оставаться во взвешенном состоянии в тампонажном растворе за счет водопоглощения на поверхности гранул и как следствие – их равномерное распределение в тампонажном камне.

В лаборатории крепления ТатНИПИнефти проведены лабораторные исследования физико-механических свойств пробы пеностекла.



Результаты лабораторных исследований физикомеханических свойств пеностекла показали, что растворы отвечают всем требованиям для применения. Рецептуру облегченного тампонажного раствора подбирали по плотности тампонажного раствора и прочности тампонажного камня на изгиб и сжатие.



Рисунок 1.6 – Гранулированное пеностекло высокого качества

Из результатов испытаний в их лаборатории, можно сказать, что тампонажный раствор обладает низкими показателями по водоотдаче и водоотделению, хорошей прокачиваемостью, тампонажный камень обладает высокой прочностью на изгиб и сжатие. Минимальное значение прочности на изгиб для цемента ПЦТ II-50 составляет 2,7 МПа.

Прочность тампонажного камня из облегченного раствора плотностью 1620 кг/м<sup>3</sup> составила 4,0 МПа, плотностью 1520 кг/м<sup>3</sup> – 2,98 МПа при нормативном значении не менее 0,7 МПа. Это доказывает что пеностекло как наполнитель дает отличные характеристики, как и в представленной данной работе.

Отличия ранее сделанных исследований от данных в том , что, пеностекло которое они используют, высокого качества и примесями дополнительных компонентов, что дает ему более корочневый оттенок и проходят более долгую и тщательную обработку, с дополнительными примесями. Рассматриваемое пеностекло, образуется как отход от стеклобоя, в дальнейшем просто обожженный в печи.

## **2. Экспериментальные данные**

### **2.1 Общие характеристики работы**

Все лабораторные исследования должны придерживаться единого стандарта или определенной методики для однородности результатов. Данная работа рассчитывалась по стандарту API ( American Petroleum Institute ) [17].

API стандарты - система стандартов разработанная некоммерческой организацией American Petroleum Institute (Американский Институт Нефти) призванная упорядочить процессы в добыче и переработке нефти.

Начав с самых первых стандартов в 1924 году, API сейчас поддерживает около 500 стандартов для всех сегментов нефтегазовой промышленности.

Сегодня, программа стандартизации API становится глобальной, в связи с активным взаимодействием с Международной Организацией по Стандартизации (International Organization for Standardization).

API аккредитованна Американским Национальным Институтом Стандартов (American National Standards Institute) как организация-разработчик стандартов, которая работает согласно утвержденной процедуре разработки стандартов и проводит регулярный аудит процесса разработок.

Стандарты API способствуют повышению безопасности, взаимозаменяемости оборудования и процессов. Благодаря использованию проверенных, одобренных специалистами решений, API стандарты позволяют уменьшить затраты на обеспечение совместимости систем.

Для исследований было выбрано Сузунское нефтяное месторождение расположенное в Красноярском крае России.

Наравне с месторождениями Лодочное, Тагульское и Ванкорское относится к Ванкорскому блоку. Местоположение месторождения - Большехетский

нефтегазоносный район Красноярского края. Расстояние до города Красноярск составляет 1700 километров.

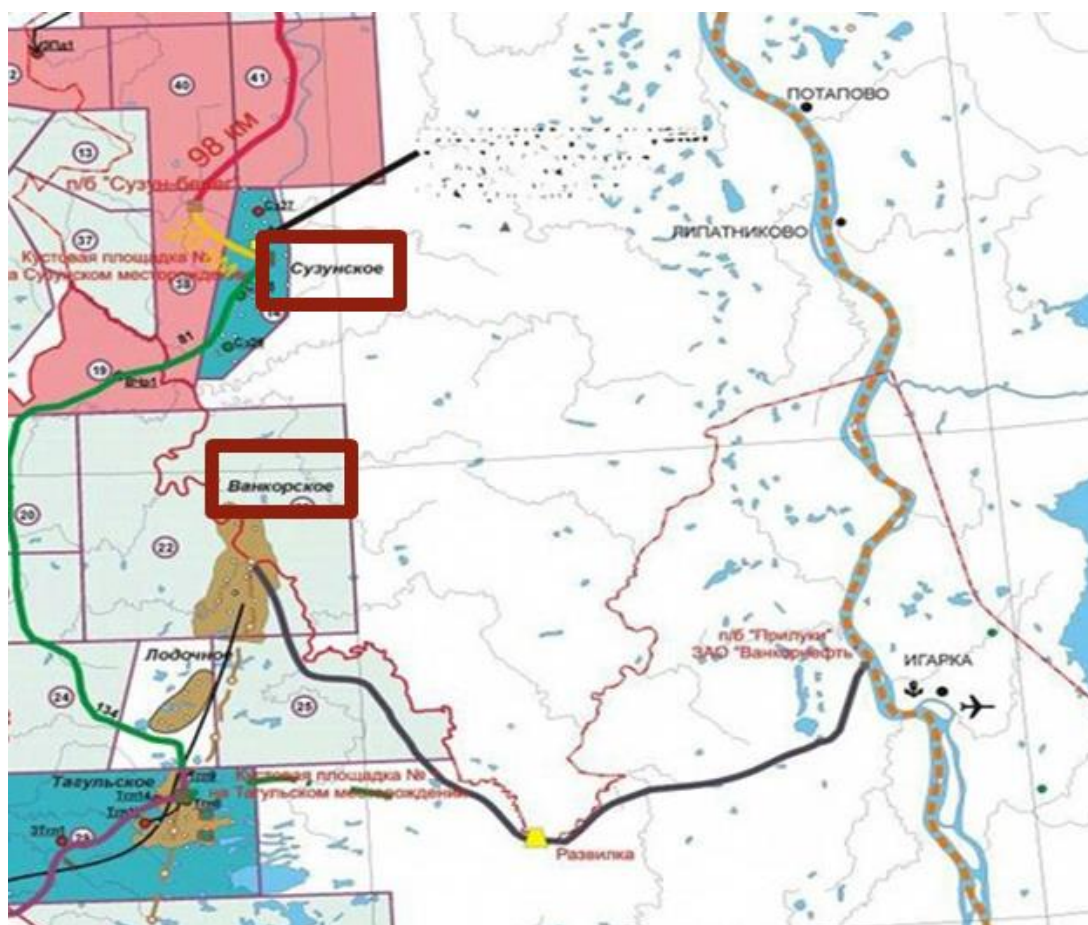


Рисунок 2.1 – карта с месторождением

Кровельная часть характеризуется установленными газовыми скоплениями непромышленного характера. Сузунское месторождение относится к числу наиболее изученных ГНМ (газово-нефтяных месторождений).

Пробурирование двух эксплуатационных скважин состоялось ещё в 2008 году. В результате бурения получен нефтяной приток в суточном объёме 3,4 тысячи баррелей. Проведение полномасштабной разработки Сузунского месторождения основывается на применении транспортной инфраструктуры, строительство

которой запланировано программой по реализации ямальских проектов компании ТНК-ВР (Тюменская нефтяная компания - British Petroleum) и других, заинтересованных в освоении месторождения сторон.



Рисунок 2.2 – Сузунское месторождение (вид сверху)

Особенности месторождения:

- исследование более глубоких залежей, в результате этого планируется получить всю необходимую информационную базу, которая позволит разработать план полномасштабных мероприятий по освоению этого месторождения;
- полномасштабное освоение Сузунского месторождения способно обеспечить стабильный уровень ежегодной добычи нефти на уровне тридцати миллионов баррелей [12].

Осенью 2008 года в процессе бурения компанией ТНК-ВР было получено полторы тысячи баррелей нефти. Весной 2013 года объёмы извлекаемых запасов Сузунского месторождения увеличены практически на пятнадцать процессов и составили почти сорок пять миллионов тонн нефти. В результате бурения дополнительной скважины произведена переоценка объёмов нефтяных запасов. Дебит новой скважины составил чуть более 280 тысяч тонн в сутки.

Полномасштабная разработка месторождения намечена на 2017 год. Такая ситуация сложилась в результате поглощения ТНК-ВР компанией Роснефть.

На данный момент на месторождении функционирует единственный пилотный куст, а также пробурено несколько разведочных скважин.

Советом директоров «Роснефти» в качестве оператора для развития Сузунского месторождения назначена компания «Ванкорнефть». Кроме того, в обязанности этого оператора входит возведение ГТЭС (Газотурбинная электростанция) 150 МВт для обеспечения месторождения энергией. К настоящему моменту на территории месторождения сварено больше 1600 двухтрубных секций, а также выполняется работа по монтажу свайных оснований.

Формирование Сузунского месторождения происходит при использовании уже возведённой и функционирующей инфраструктурной сети Ванкорского месторождения. Такой характер работ предполагает минимальную степень воздействия на экологический статус района.

Министерством природных ресурсов и экологии Красноярского края контролируется весь процесс работ на территории этого месторождения.

Основные данные которые требуются взять с месторождения для тестирования предлагаемого раствора это:

- химический состав бленда используемый на данной скважине;
- объёмы работ за год;
- тип работы;
- ценовая политика добавок;

- циркуляционная и статическая температура на забое;
- критерии к водоотделению, водоотдаче;
- критерии к времени загустевания;
- критерии к набору прочности.

После полученных данных было конкретное представление о критериях требуемого раствора, которые в дальнейшем смогут использоваться, как основные показатели качества тампонажной смеси. Все данные были взяты у инженеров Сузунского месторождения.

Таблица 2.1 – Критерии раствора

Критерии	
Плотность раствора	1500 кг/м <sup>3</sup>
Циркуляционная температура	18 с <sup>0</sup>
Статическая температура	12 с <sup>0</sup>
Давление на забое	26 МПа
Начальное давление	0,1 МПа
Тип работы	Эксплуатационная колонна
Пластическая вязкость	<200 сР
Динамическое напряжение сдвига	<1.915207 кПа
Время загустевания	70 Вс – 6:30 ч:м
Прочность на сжатие	>14 Мра за 24 часа
Водоотделение	<120 мл
Водоотдача	0 мл
Время выхода на режим	30 мин
Количество работ за год	15 шт
Тип замеса	Batch Mix
Наличие больших частиц	Да
Количество кустов	2
Кондиционирование	В консистометре высокого давления
Ожидаемая прочность	> 3,44 Па
Прочность на изгиб	Нет
Текучесть	Нет

## 2.2 Описание тестируемых растворов

Качаемый раствор на данной локации имеет определённую технологию, которая позволяет получить большой процент твёрдой фазы и затрачивать наименьшее количество воды, что не свойственно для лёгких растворов. Поэтому процентный состав добавок очень важен в бленде и должен правильно регулироваться.

Методология проектирования, основанная на максимизации объемной доли упаковки сухой смеси, используемой в конструкции суспензии. На свойства суспензии и цемент влияет прежде всего содержание твёрдой фазы [13].

Основная идея таких растворов это соотношение размера частиц друг к другу: большие частицы 55% (микросферы), средние частицы 35% (цемент), мелкие частицы 10% (зола уноса). Преимущество в том, что, из-за разности размеров заполняются пустоты между частицами тем самым делая меньше пространства для воды и усиливается трение между ними.

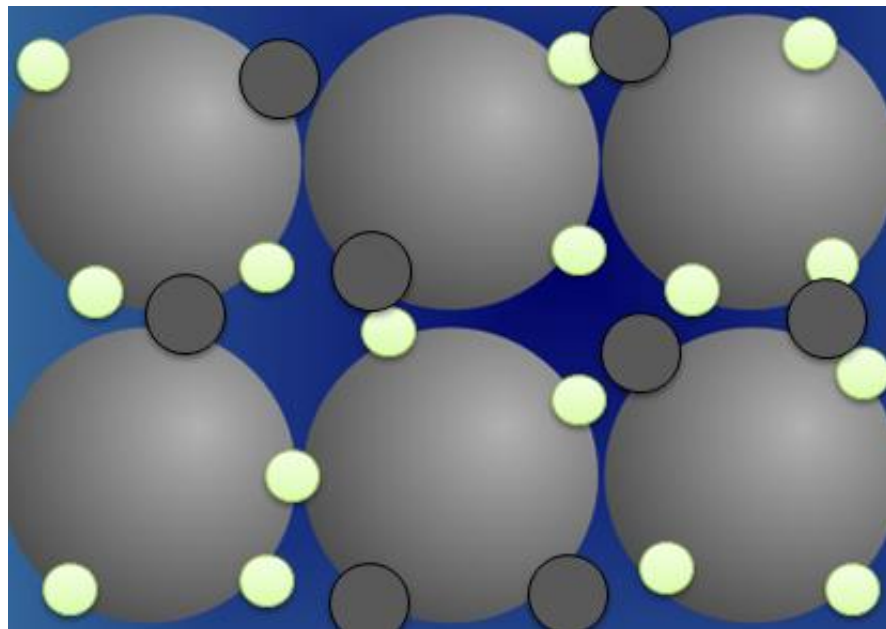


Рисунок 2.3 – Стандартный бленд



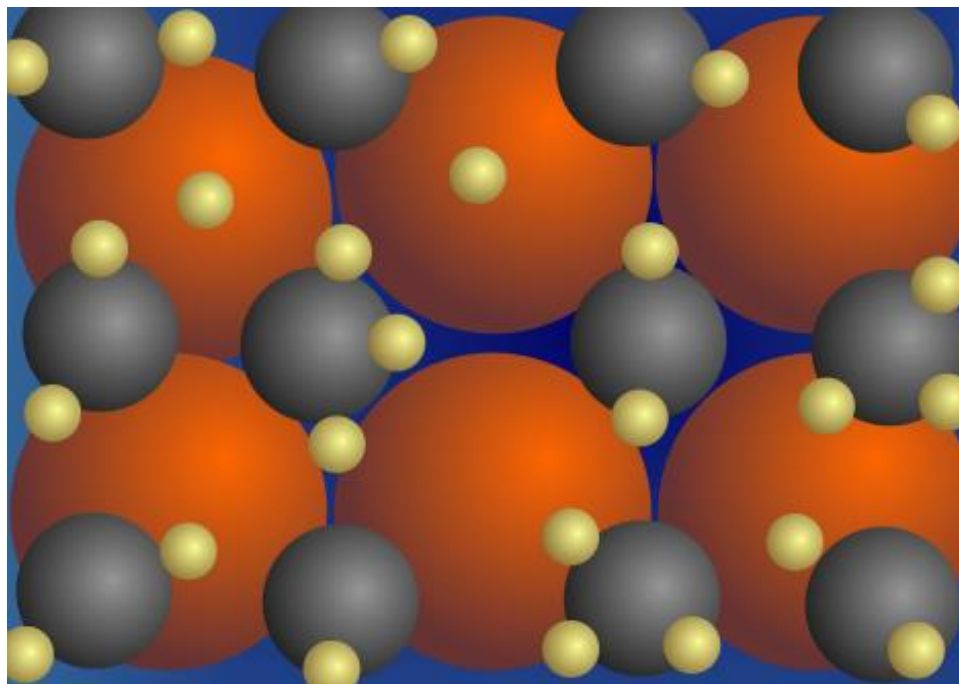


Рисунок 2.4 – Состав бленда из разноразмерных частиц

Для полной видимости было принято решение взять: основную композицию раствора (используемую на данном месторождении), предлагаемую композицию и самый стандартный вариант легкого раствора.

Таблица 2.2 – Сравнительная таблица компонентов блендов, участвующих в исследовании, в %

Компонент	Используемый	Предлагаемый	Стандартный
Цемент G	35	35	100
Микросферы	55		
Пеностекло		55	
B436	10	10	15
НЕС	0.5	0.5	0.5

*Портландцемент* - гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путём совместного помола цементного клинкера, гипса и добавок, в составе которого преобладают силикаты кальция (70-80 %). Это вид цемента, наиболее широко применяемый во всех странах.

Портландцемент получают тонким измельчением клинкера и гипса. Клинкер - продукт равномерного обжига до спекания однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины определённого состава, обеспечивающего преобладание силикатов кальция ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  и  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  70-80 %) [14].

*Микросферы* – это высокопрочные, инертные сферические частицы с присущей высокой твёрдостью, разработанные для тампонажных растворов, а также увеличения их твёрдости и технологичности «рисунок 2.4» .

В отличие от многих других наполнителей, не имеющих определённой формы частиц (например слюда, карбонат кальция и т.д.), керамические микросферы легко перемещаются друг относительно друга, создавая некоторое подобие шарикоподшипника. Это позволяет снизить вязкость получаемой композиции, улучшить текучесть.

Керамическая микросфера (пустотелая) с поверхностью, модифицированной полиуретановым наноструктурным покрытием. Диаметр микросфер варьируется в диапазоне от  $3\cdot 10^{-5}$  м до  $500\cdot 10^{-5}$  м (от 30 до 500 микрометров). Плотность материала стенок микросфер 2,5 г/см<sup>3</sup>. Толщина оболочки микросферы 10% от ее диаметра. Состав газовой фазы внутри сфер представляет собой смесь CO<sub>2</sub> - 70%, N<sub>2</sub> - 30%. Теплопроводность микросфер составляет 0,08 Вт/м•К. при 20С. Предел прочности на сжатие-150-280 кГ/см<sup>2</sup>.

Микросферы могут использоваться в растворителях, органических растворах, воде, кислотах, или щелочах без потери свойств. Микросферы не теряют свойств до температур, превышающих 980С. Температура плавления - не ниже 1400С. Полиуретановое покрытие имеет толщину  $\sim 1\cdot 10^{-8}$  м- $3\cdot 10^{-8}$  м (10-30 нанометров). Температура применения полиуретанового покрытия не должна превышать 170°С.

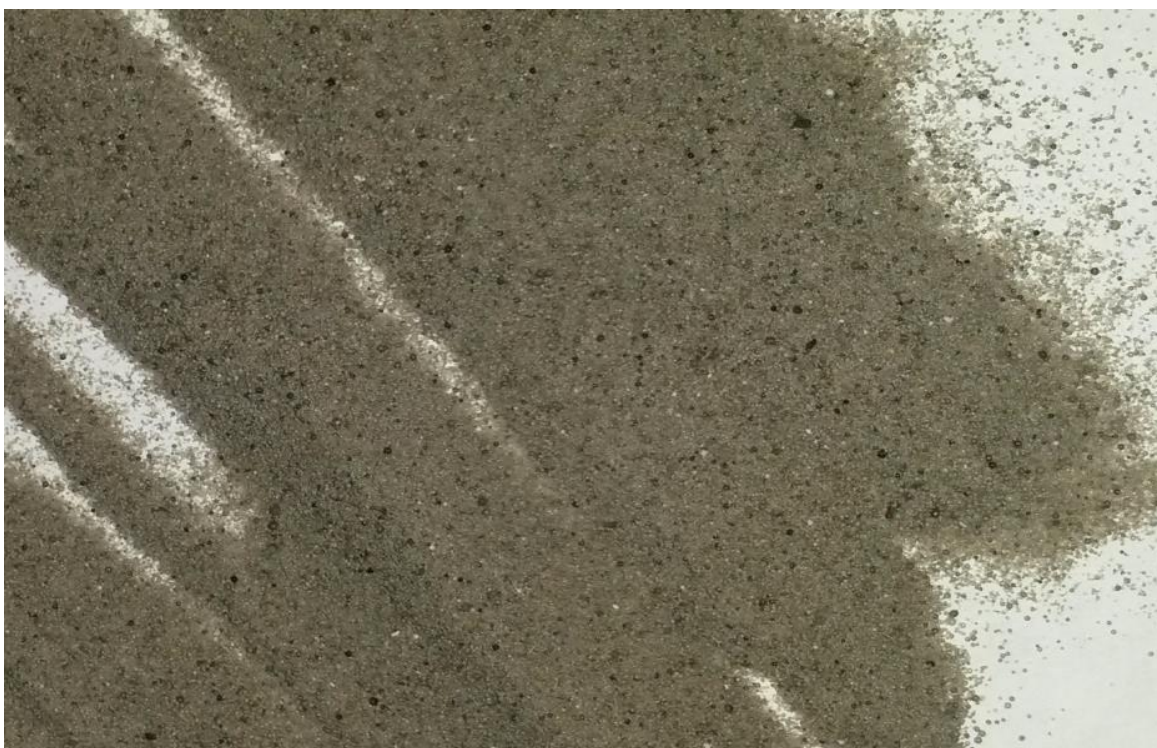


Рисунок 2.5 – Используемые микросферы

*Пеностекло* - материал, представляющий собой вспененную стекломассу.

В настоящее время основной технологией производства пеностекла является: тонкоизмельчённое силикатное стекло смешивается с газообразователем углеродом, получившаяся однородная механическая смесь (шихта) в формах, либо на конвейерной ленте поступает в специальную туннельную печь. В результате нагрева до 800—900°С частицы стекла размягчаются до вязко-жидкого состояния, а углерод окисляется с образованием газообразных  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , которые и вспенивают стекломассу.

Механизм реакции пенообразования достаточно сложен и не ограничивается только реакцией окисления углерода кислородом воздуха, более важную роль играют окислительно-восстановительные процессы взаимодействия углерода с компонентами размягчённого стекла. Применяют с этой целью отходы обычного стекла.



Рисунок 2.6 – Используемое пеностекло

Наряду с отличными теплоизоляционными свойствами и полной экологической и гигиенической безопасностью, пеностекло имеет высокую прочность, негорючесть, удобство обработки и простота монтажа, способность сохранять эти показатели на протяжении длительного времени постоянными. Материал стоек ко всем обычно применяемым кислотам и их парам, не пропускает воду и водяной пар, не подвержен поражению бактериями и грибами, непроходим для грызунов, не поддерживает горения, не выделяет дыма и токсичных веществ [15].

Характеристики:

- пеностекло выпускают в форме блоков и гранул;
- плотность пеностекла - 120-200 кг/м. Куб;
- сорбционная влажность пеностекла - 0,2-0,5%;

- теплопроводность пеностекла - 0,04-0,08 Вт/(м·К)(при +10°C);
- паропроницаемость пеностекла - 0-0,005 мг/(м.ч.Па);
- предел прочности на сжатие - 0,7-4 Мпа;
- предел прочности на изгиб - 0,4-0,6 Мпа;
- температура начала деформации пеностекла - 450°C;
- водопоглощение пеностекла 0-5 % от объёма;
- эффективный диапазон температур: от -200°C до +500°C.

*B436* - тонкодисперсный материал с небольшими размерами частиц. Образуется она при сжигании твердого топлива в условиях повышенных температур (+800 градусов). В ней находится до 6 % несгоревшего до конца вещества и железо.

Образуется зола уноса при сжигании минеральных примесей, которые находятся в топливе. Для различных веществ содержание ее неодинаковое. К примеру, в дровах содержание золы уноса всего 0,5-2 %, в топливном торфе 2-30 %, а в буром и каменном угле 1 – 45 %.

Золы уноса образуются во время сгорания топлива. Свойства вещества, полученного в котлах, отличаются от тех, которые создают в лаборатории. Эти отличия затрагивают физико-химические характеристики и состав.

В частности, при сжигании в топке происходит расплавление минеральных веществ топлива, что приводит к появлению компонентов недогоревшего композита. Такой процесс, который называется механическим недожогом, связан с увеличением в топке температуры до 800 градусов и выше.



Рисунок 2.7 – Микрокремнезём под микроскопом

Основные характеристики:

- снижение теплоты гидратации, что особенно важно в жаркое время года. Содержание золы в растворе пропорционально уменьшению теплоты гидратации.
- капиллярное поглощение, при добавлении 10 % золы уноса к цементу увеличивается капиллярное поглощение воды на 10-20 %. Это, в свою очередь, уменьшает морозостойкость.
- устойчивость в агрессивной воде, цементы, которые на 20 % состоят из золы, более стойки к погружению в агрессивную воду.

Зола уноса сухого отбора всегда сортируется по фракциям под воздействием электрических полей, которые создаются в фильтрах. Поэтому она является наиболее пригодной для применения. Из наиболее крупных примеров использования золы уноса в России необходимо отметить:

Рефтинский завод газозолобетонных изделий (ООО «ПСО «Теплит») был организован в 1989 г. как непрофильное подразделение Рефтинской ГРЭС с целью переработки золы-уноса, мощность завода — 145 тыс.куб.м. твинт-блоков (ячеистый бетон) в год.

Более 40 лет зола уноса и ЗШС из золоотвала ТЭЦ-1 г. Ангарска успешно используются в производстве цемента на ОАО «Ангарскцемент», мощность завода составляет 1 млн. 211 тыс. тонн цемента в год.

В период 2007-2012 года группой компаний ЗАО «Основа Холдинг», г. Омск, открыты 3 завода по производству строительных материалов. Годовые проектные мощности кластера составляют 1 млн. тонн цемента, 120 000 куб. м строительных блоков из автоклавного газобетона и 79 миллионов штук условного кирпича.

*НЕС* - неионный, водорастворимый полимер. Гидроксиэтилцеллюлозу получают из хлопка или древесины взаимодействием целлюлозы с этиленоксидом при температуре 60-100С в присутствии гидроксида натрия. В результате гидроксильные группы глюкозы замещаются группами гидроксиэтилового эфира.

Это белый или слегка желтоватый порошок, без вкуса и запаха, хорошо растворимый как в горячей, так и в холодной воде, и образующий при этом вязкий раствор консистенции геля. Раствор стабилен в интервале рН от 2 до 12. Так как Тилоза образует неионный водный раствор, то она не реагирует ни с анионами, ни с катионами, и не взаимодействует с солями.

Однако молекула Тилоза способна участвовать в реакциях эстерификации, этерификации (образовании простых и сложных эфиров) и образования ацеталей, что позволяет сделать ее нерастворимой в воде или улучшить ее свойства. Тилоза также демонстрирует хорошую пленкообразующую и поверхностно-активную способности.

Чаще всего они используются при производстве красок и строительных материалов, а также при полимеризации. Помимо этого, Тилоза используется для облагораживания различных продуктов в самых разнообразных областях, как,

например, в фарминдустрии, керамических изделия, нефтедобыче, а также в косметических средствах.

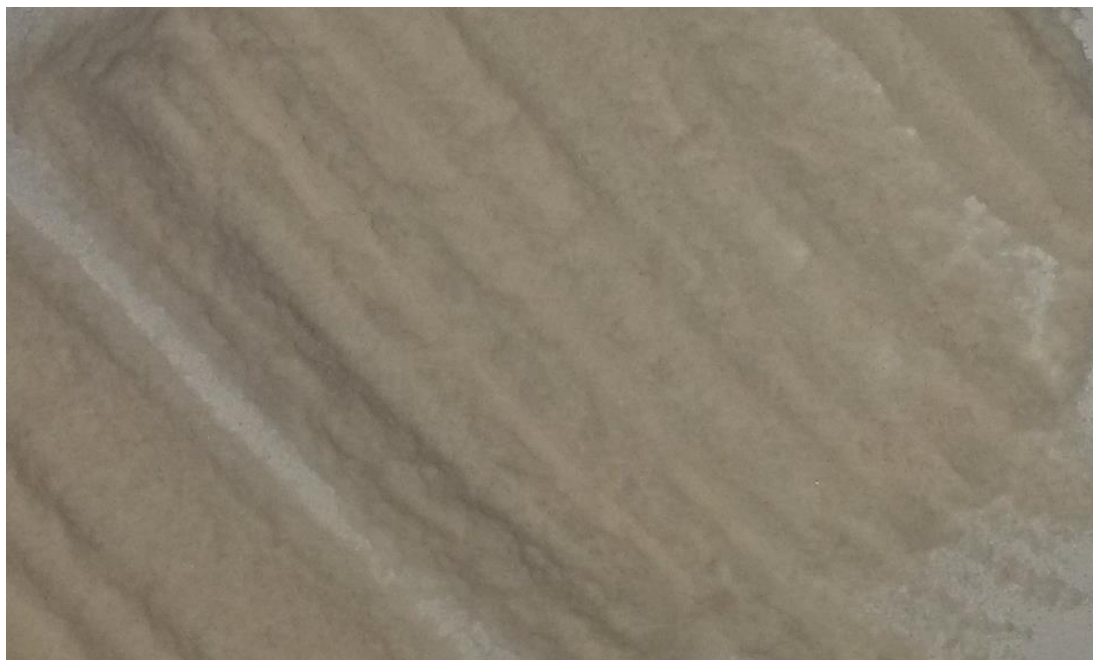


Рисунок 2.8 – Гидроксиэтилцеллюлоза рассыпчатая

При обработке подземных пластов газовых и нефтяных скважин данное вещество применяется в составе вязкоупругих жидкостей (эмульгированные и вспененные жидкости высокой вязкости) для гидравлического разрыва подземных пластов.

Все характеристики о добавках были сведены в сравнительную таблицу для видимости параметров.



Таблица 2.3 – Характеристики используемых добавок

Характеристики	Цемент G	Микросферы	Пеностекло	B436	НЕС
Плотность кг/л	3.20	0.84	2.30	2.20	1.38
Основное свойство	Наполнитель	Наполнитель	Наполнитель	Наполнитель Стабилизация р-ра	Контроль водоотдачи
Рабочая температура	10-100 c <sup>0</sup>	0-100 c <sup>0</sup>	0-100 c <sup>0</sup>	0-120 c <sup>0</sup>	10-100 c <sup>0</sup>
Побочное действие	Стабилизация раствора	Стабилизация раствора	Стабилизация раствора	Уменьшение свободной воды	Увеличение реологии
Совместимость	Совместим со всеми добавками	Совместим со всеми добавками	Совместим со всеми добавками	Совместим со всеми добавками	Совместим со всеми добавками
Вид добавки	Специально получаемый	Специально получаемый	Отход	Отход	Специально получаемый
Плотность насыпная кг/м <sup>3</sup>	1500	230-450	201-250	680	350
Плотность абсолютная кг/л	3.20	0.84	2.30	2.20	1.38
Активность	Химически активный	Инертный	Инертный	Химически активный	Химически активный
Рекомендуемые концентрации	0-100%	2-55%	2-55%	2-20%	0.1-1.5%
Цена руб за кг	4320	38.43	15.5	12.1	300.26
Цвет	Серый	Серо-коричневый	Серый	Серый	Белый
Запах	Нет	Нет	Нет	Нет	Сладковатый

### 2.3 Генерирование блендов

Для составления блендов использовалась цементная расчетная программа LabDB. Эта лицензионная программа помогает не только рассчитать бленд, но и позволяет заполнять все проведенные тесты для последующего включения их в отчет, дополнительно показывает содержание твердых частиц (насколько раствор будет текучим).

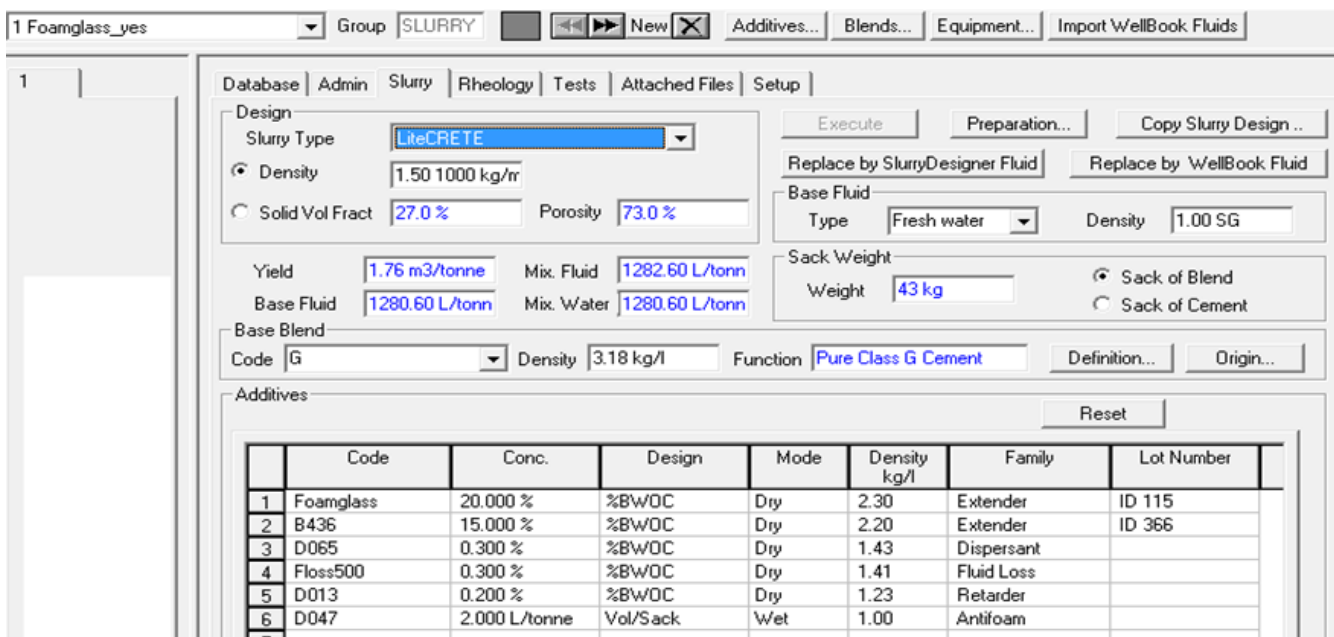


Рисунок 2.9 – Расчётное окно программы LabDB

Были рассчитаны три бленда, что бы показать, чем можно заменить дорогие импортные добавки на экономически – выгодные, химически активные отходы производства. Они полностью должны отвечать требованиям тампонажных растворов, а так же экологическим требованиям месторождений.

Первый бленд это «используемый» на данном месторождении по сегодняшний день. Он не экономичен, но обладает очень хорошими характеристиками, что ставит сложную задачу найти ему идентичную замену.

Таблица 2.4 – Состав используемого бленда

Компонент	Количество на 600 мл, в граммах
Цемент G	296,45
Микросферы	135,59
Зола уноса	37,06
НЕС	2,35
Вода с месторождения	428,55

Следующий бленд, который был представлен это «предлагаемый», который полностью должен совпадать по всем характеристикам с используемым. В основном бленде мы меняем более дорогой наполнитель (микросферы) на более дешёвый (пеностекло), а остальные компоненты останутся прежними.

Таблица 2.5 – Состав предлагаемого бленда

Компонент	Количество на 600 мл, в граммах
Цемент G	320,753
Пеностекло	112,263
МК-85	32,075
НЕС	1,604
Вода с месторождения	433,299

Третий бленд это «стандартный» самый простой и экономичный, в нем только один наполнитель и добавка водоконтроля, но маленькое содержание твёрдой фазы.

Таблица 2.6 – Состав стандартного бленда

Компонент	Количество на 600 мл, в граммах
Цемент G	391,803
МК-85	58,770
НЕС	1,959
Вода с месторождения	448,462

Перед испытаниями замешивание растворов происходило в миксере постоянной скорости Chandler Engineering (модель 3260), обеспечивающем все необходимые функции для затворения цементного раствора в соответствии со стандартом API .

Стандартный замес происходил (для стандартного бленда) на 12000 оборотах в минуту, а перед этим закидыванием за 15 секунд на 4000 оборотах.

Бленды с микросферами (для используемого и исследуемого бленда) требуют определенную энергию замеса, потому что на большой скорости микросферы ломаются и теряют свои нужные свойства. После взвешивания добавок всё перемешивается, затем забрасывается за 15 секунд на 4000 оборотах в минуту и далее мешается на той же скорости 5 минут по стандарту API [16].



Рисунок 2.10 – Миксер постоянной скорости Chandler Engineering  
(модель 3260)

#### **2.4 Реологические свойства растворов.**

Качество строительства скважин складывается из многих параметров, среди которых необходимо указать качество проходки (наличие желобов, уширений и т.п. в пробуренном стволе), степень замещения бурового раствора

на цементный раствор, стабильность цементного раствора, прочностные и адгезионные характеристики цементного камня.

В большей части исследовательских работ основное внимание обращают на технологические и прочностные характеристики цементного раствора и камня, исследование адгезионных и реологических характеристик цементных растворов проводится значительно реже. Хорошее замещение бурового раствора цементным является одним из важнейших факторов предотвращения заколонных перетоков. Степень заполнения цементным раствором (и в дальнейшем камнем) заколонного пространства в значительной степени определяется реологическими свойствами цементного раствора.

Цель данного теста заключалась в исследовании реологии представленных растворов при различных условиях течения.

Для определения вязкости использовался вискозиметр прямой индикации Модели 3500. Вязкость растворов для бурения и заканчивания скважин имеет огромное значение с точки зрения эффективности их применения, а также возможности закачки и размещения этих жидкостей в скважине в строго определённых интервалах. Среди множества проблем, связанных со слишком высокой или слишком низкой вязкостью, можно выделить сложность или невозможность закачки и размещения этих жидкостей в скважине в строго определённых интервалах, а также невозможность выноса бурового шлама или других материалов из скважины на поверхность.

Принцип действия вискозиметра основан на определении напряжения сдвига при различных скоростях сдвига. Данный вискозиметр, соответствует спецификации 10 стандарта API. Прибор универсален для применения в исследовательских, промысловых и мобильных лабораториях, осуществляющих исследование и контроль качества продукции.



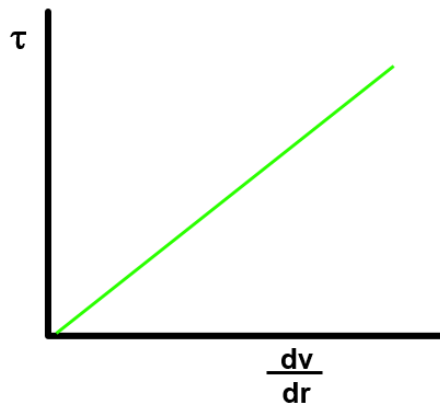
Рисунок 2.11 – вискозиметр прямой индикации Модели 3500

Вискозиметр модели 3500 измеряет вязкость, создавая заданную скорость сдвига в растворе в рамках затрубного пространства между бобом и ротором. Величина сдвига, создаваемого в контролируемой среде, измеряется путём углового смещения боба. Угловое смещение позволяет определить по шкале показание, соответствующее вязкости раствора.

Снятие и чистка ротора и боба после испытания производится быстро и легко. Резьбовое соединение обеспечивает правильное выравнивание боба и ротора при каждом испытании.

Существует четыре вида моделей реологии:

- Ньютонская ( примером чисто вязкого элемента может служить цилиндр с вязкой жидкостью и неплотно прилегающим поршнем, так что в щели между цилиндром и щелью действует сила трения в жидкости.) ;

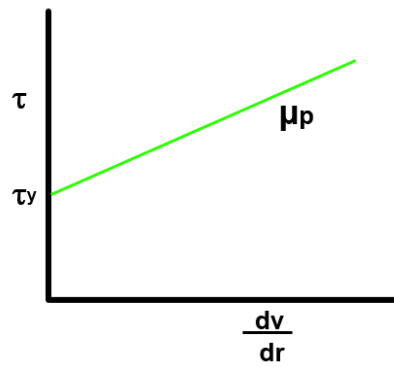


$\tau$  — показания реометра ;  $\frac{dv}{dr}$  — напряжение сдвига

Рисунок 2.12 – Ньютонская реологическая модель

- Бингама, вязко-пластические бингамовские жидкости отличаются от ньютоновских жидкостей тем, что для инициирования течения требуется приложить некоторое конечное напряжение.

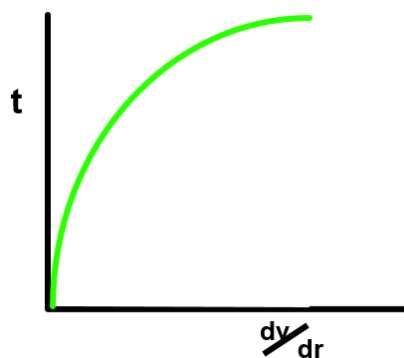
Исследования реологического поведения цементных растворов показали, что при температурах близких к температуре хорошо подчиняются модели Швидова-Бингама.



$\tau$  – показания реометра ;  $\frac{dv}{dr}$  – напряжение сдвига;  $\tau_y$  – бингамовская жидкость;  $\mu_p$  – пластическая вязкость

Рисунок 2.13 – Бингама реологическая модель

- Псевдопластичные, не имеющие предельного динамического напряжения сдвига, их графики консистенции проходят через начало координат. Эти графики нелинейны, но при высоких скоростях сдвига приближаются к прямой. Такие жидкости характеризуются тем, что они не обнаруживают предела текучести.

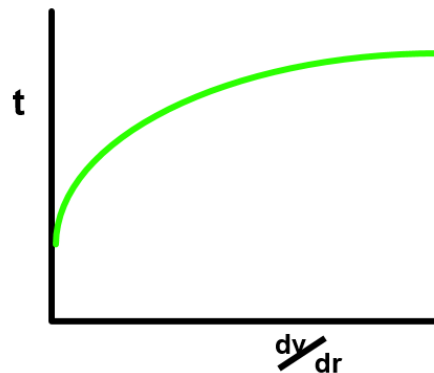


$\tau$  – показания реометра ;  $\frac{dv}{dr}$  – напряжение сдвига

Рисунок 2.14 – Псевдопластичная реологическая модель



- Гершеля-Балкли, эта модель не в полной мере описывает реологические свойства цементных растворов при низких скоростях сдвига, прежде всего потому, что не предсказывает существование характерного для цементных растворов предела текучести .



$\tau$  – показания реометра ;  $\frac{dv}{dr}$  – напряжение сдвига

Рисунок 2.15 – Псевдопластичная реологическая модель

В данной работе использовалась Бингамовская модель, так как она точнее описывает реологические значения цементного раствора.

Формулы рассчитывающие пластическую вязкость и динамическое напряжение сдвига были рассчитаны автоматически в программе LabDB, а так же в ручную взятые из мануала прибора [18]. При стандартном наборе, скорость сдвига  $170 \text{ с}^{-1}$  соответствует  $100 \text{ мин}^{-1}$ , и соответственно пластическая вязкость считается по формуле:

$$P_v = 1.50 \cdot F_x \cdot (\theta_{300} - \theta_{100}) \quad (2.1)$$

где  $P_v$  – пластическая вязкость [сР];

$\theta$  – скорость сдвига [ $\text{с}^{-1}$ ];

$F_x$  - константа пружины, табличное значение.

Стандартный раствор:

$$1.50 \cdot 1 \cdot (82 - 33.5) = 72.75 \text{ сР}$$

Исползуемый раствор:

$$1.50 \cdot 1 \cdot (82 - 37) = 67.5 \text{ сР}$$

Исследуемый раствор:

$$1.50 \cdot 1 \cdot (77 - 31.3) = 68.55 \text{ сР}$$

Формула расчета динамического напряжения сдвига:

$$T_y = F_x \cdot (\theta_{300} - P_V) \tag{2.2}$$

Стандартный раствор:

$$1 \cdot (82 - 72.75) = 9.25 \frac{\text{Lbf}}{100 \text{ft}^2}$$

Используемый:

$$1 \cdot (82 - 67.5) = 14.5 \frac{\text{Lbf}}{100 \text{ft}^2}$$

Исследуемый:

$$1 \cdot (77 - 68.55) = 8.45 \frac{Lbf}{100ft^2}$$

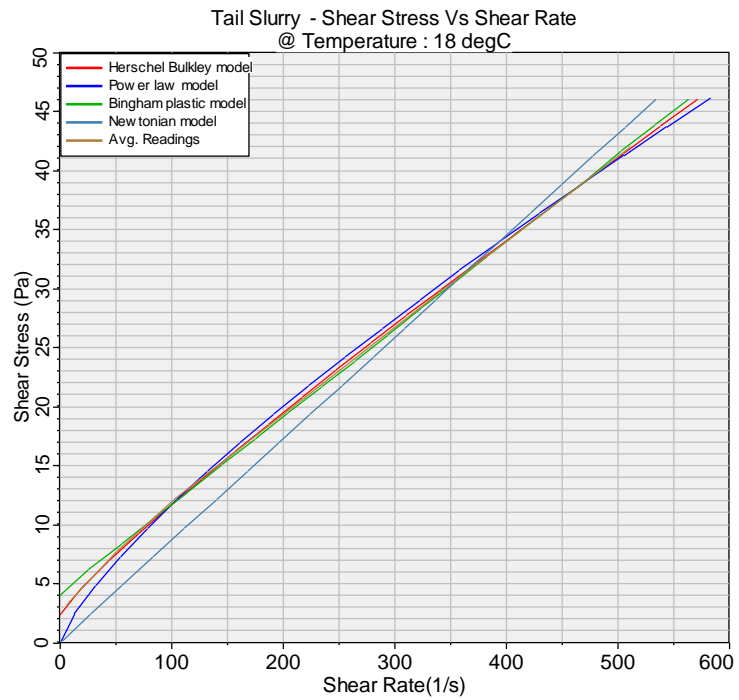


Рисунок 2.11 – Реологические модели после кондиционирования стандартного раствора

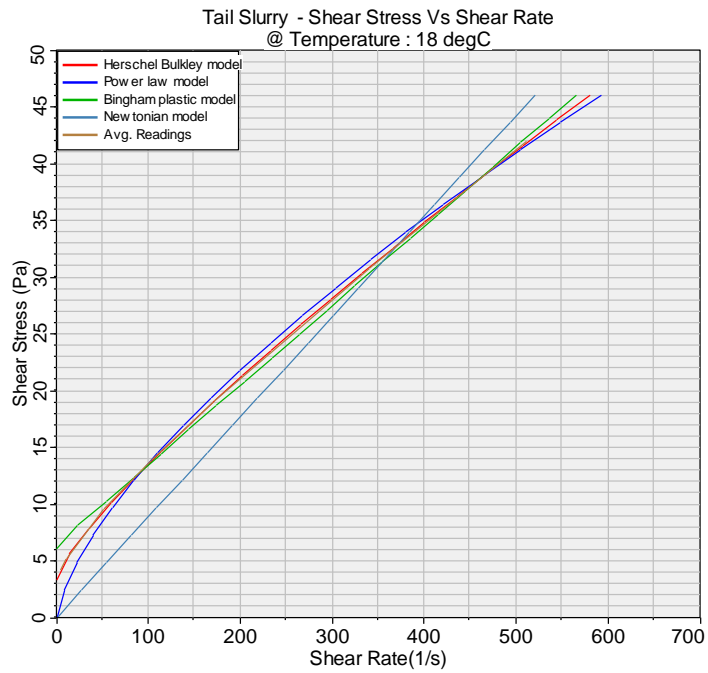


Рисунок 2.12 – Реологические модели после кондиционирования используемого раствора

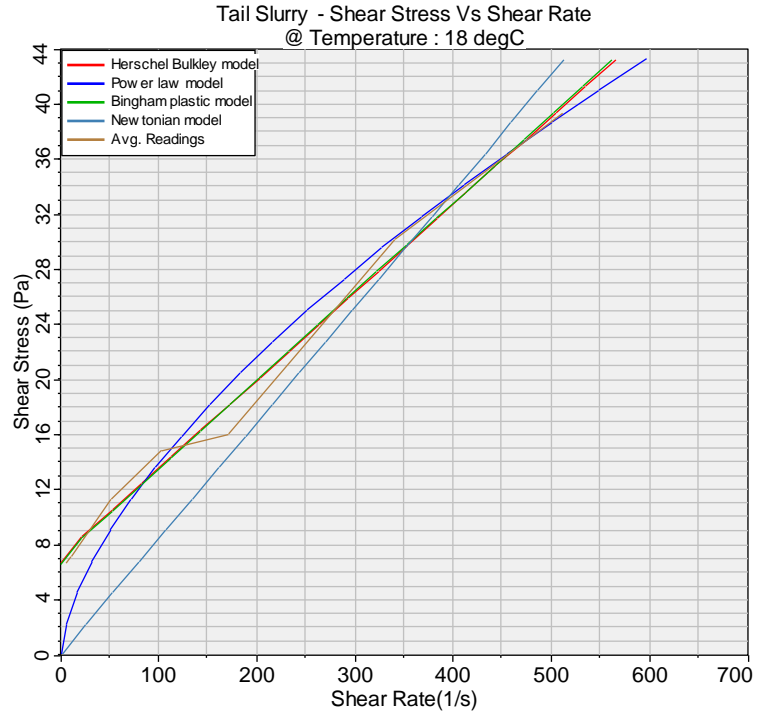


Рисунок 2.13 – Реологические модели после кондиционирования исследуемого раствора

Таблица 2.7 – Результаты испытаний реологии.

Скорость Rpm	Стандартный раствор Па	Используемый раствор Па	Исследуемый раствор Па
300	82,0	82,0	77,0
200	58,0	60,0	59,0
100	33,5	37,0	31,3
60	23,5	27,0	29,0
30	15,0	18,5	22,0
6	7,0	10,0	14,0
3	6,0	8,0	13,0
Пластическая вязкость сП	72,75	67,5	68,55
Динамическое напряжение сдвига Па	9,25	14,5	8,45

## 2.5 Время загустевания

Время загустевания (консистенция) тампонажных растворов измеряется в условных единицах. Он характеризует прокачиваемость неньютоновской жидкости, изменяющей с течением времени свою структуру, и измеряется с помощью консистометра.

пределение времени загустевания в соответствии с требованиями стандартов API/ISO предполагает использование консистометра, работающего под давлением.

Установка включает вращающийся цилиндрический контейнер для цементного раствора, оснащенный стационарной лопастной мешалкой в сборе и помещенный вместе с ней в сосуд для работы под давлением, обеспечивающий возможность выдерживать давления и температуры, имитирующие условия в скважине. Контейнер для цементного раствора вращается со скоростью 150 об/мин

$\pm 15$  об/мин. Лопасть мешалки и все детали контейнера, контактирующие с цементным раствором, должны быть сконструированы из коррозионно-стойких материалов. Пространство между стенками контейнера для цементного раствора и стенками сосуда для работы под давлением должно быть полностью заполнено маслом на углеводородной основе. Консистенцию цементного раствора выражают в единицах Бердена (Bc) и определяют с помощью потенциометрического механизма и цепи измерения напряжения. Калибровка механизма потенциометра осуществляется при помощи грузов и служит для воспроизведения серии значений крутящих моментов, соответствующих определенным значениям консистенции.

Интересующие значения:

- 30 Bc, раствор должен начаться с менее низкой вязкостью, что бы его можно было вкачать в скваженну;

- 70 Bc, раствор при данной консистенции уже почти не прокачиваемый что показывает его застывание;

- 100 Bc, раствор уже не прокачиваемый что приводит к завершению теста.

Все модели оснащены электронным графопостроителем с цветным сенсорным дисплеем для регистрации данных по консистенции, давлению и температуре в реальном времени с возможностью переноса данных на ПК.



Рисунок 2.14 – Консистометр высокого давления 7233

Все консистометры могут оснащаться Цифровой Системой Сбора Данных (DAS) и управления при помощи ПК и специализированного программного обеспечения.

Таблица 2.8 – Время загустевания

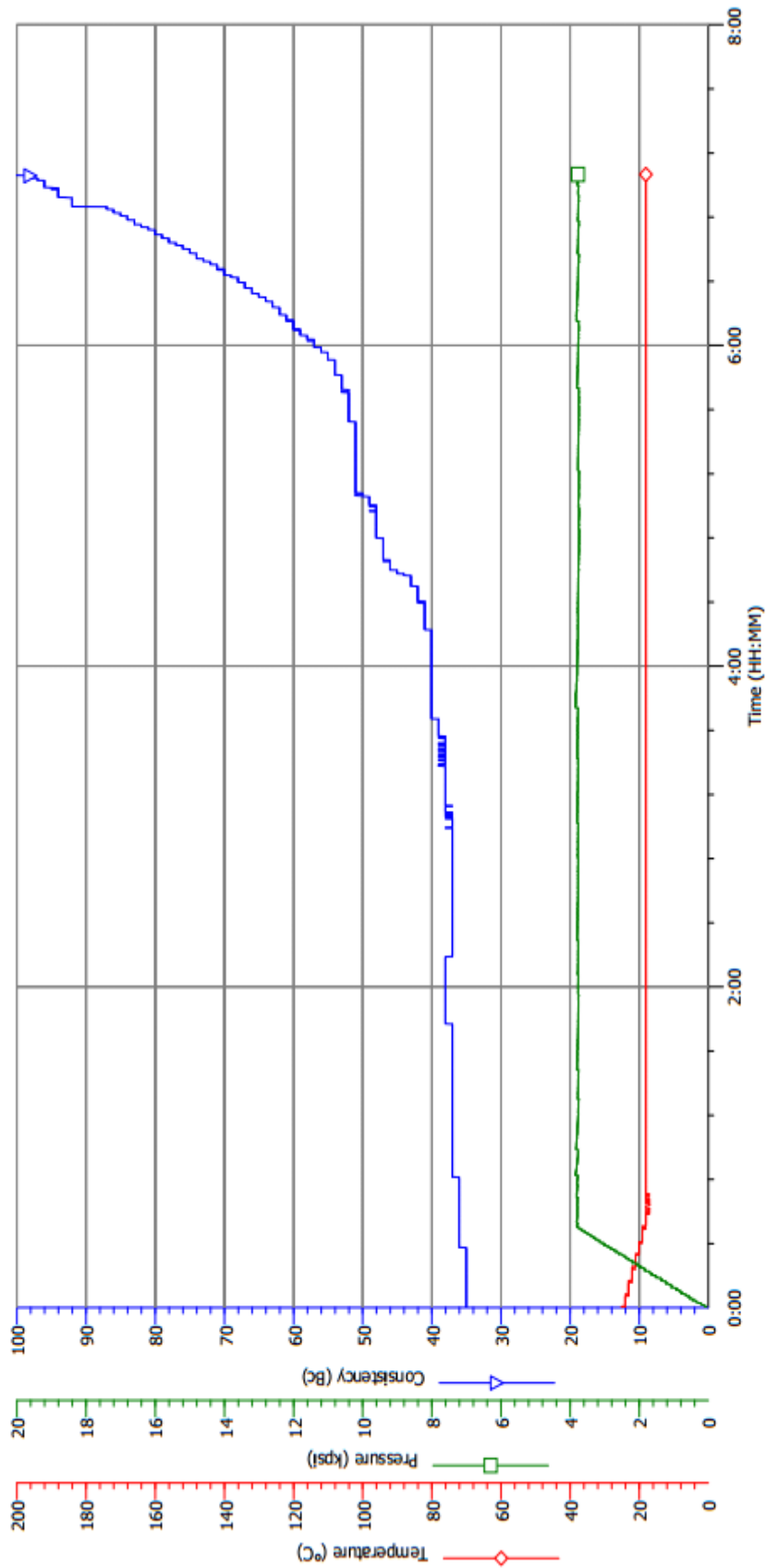
Консистенция	Стандартный	Используемый	Исследуемый
Начало набора консистенции	13:10 чч:мин	04:10 чч:мин	03:48 чч:мин
40 Вс	13:48 чч:мин	03:40 чч:мин	05:09 чч:мин
70 Вс	23:02 чч:мин	06:26 чч:мин	08:02 чч:мин
100 Вс	31:46 чч:мин	07:03 чч:мин	09:25 чч:мин



Instrument: 7322-716  
Client:  
Job Type:  
Comments:

TT 40Bc: 3:40:20  
TT 50Bc: 5:03:30  
TT 70Bc: 6:26:20  
TT 100Bc: 7:03:40

Test Start: 11/9/2016 12:52:29 PM  
Test Stop: 11/9/2016 7:56:29 PM



**Schlumberger**  
Krasnoyarsk Laboratory

Test File Name: TT\_d124\_25\_10\_16.lst

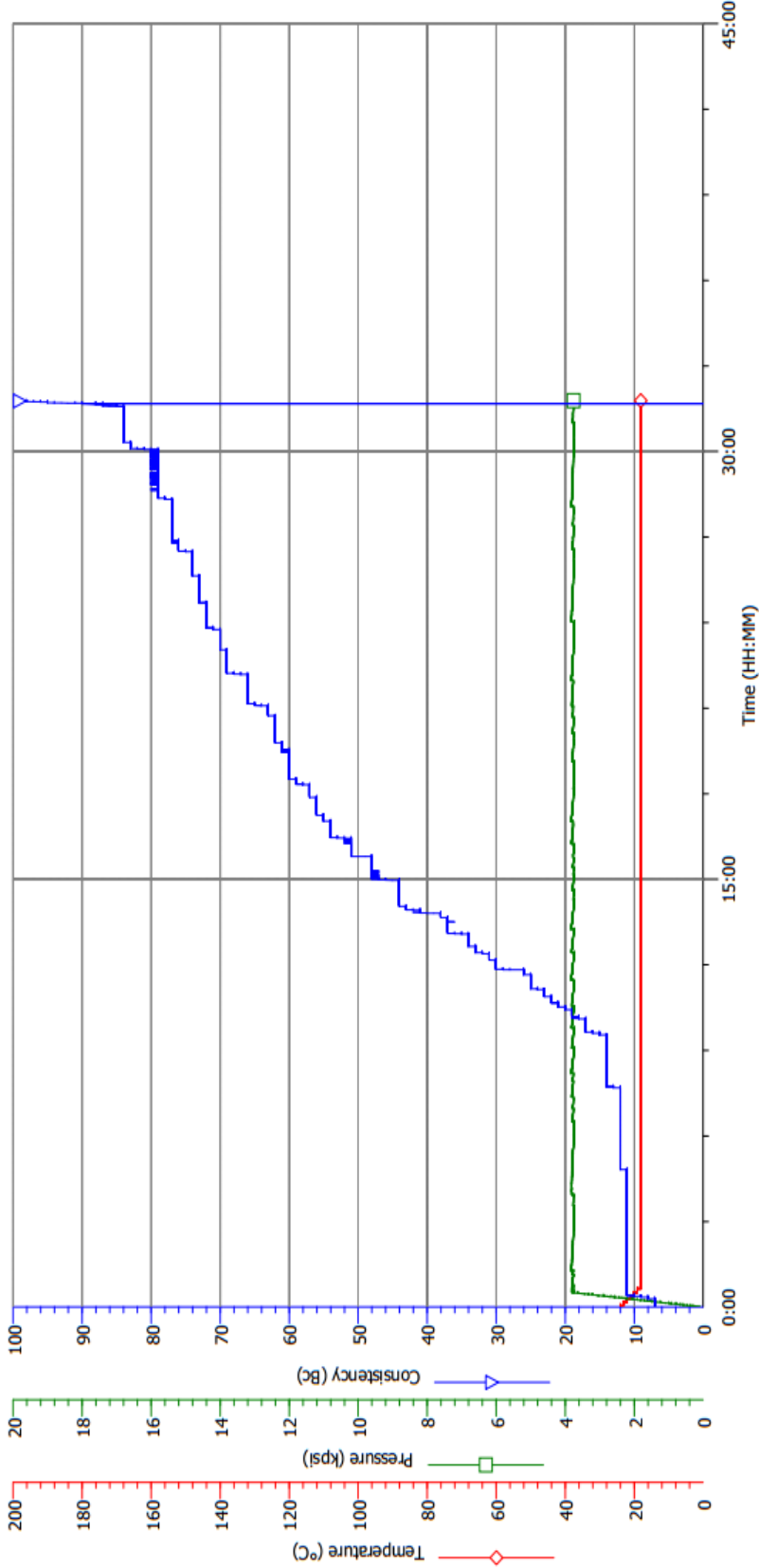
Printed: 5/29/2017 3:35:31 PM

Рисунок 2.15 – График загустевания стандартного раствора

Instrument: 7322-698  
Client:  
Job Type:  
Comments:

TT 40Bc: 13:48:20  
TT 50Bc: 15:47:50  
TT 70Bc: 23:02:30  
TT 100Bc: 31:46:20

Test Start: 11/3/2016 2:12:03 PM  
Test Stop: 11/4/2016 9:58:53 PM



**Schlumberger**  
Krasnoyarsk Laboratory

Test File Name: TT\_cementG\_25\_10\_16.tst

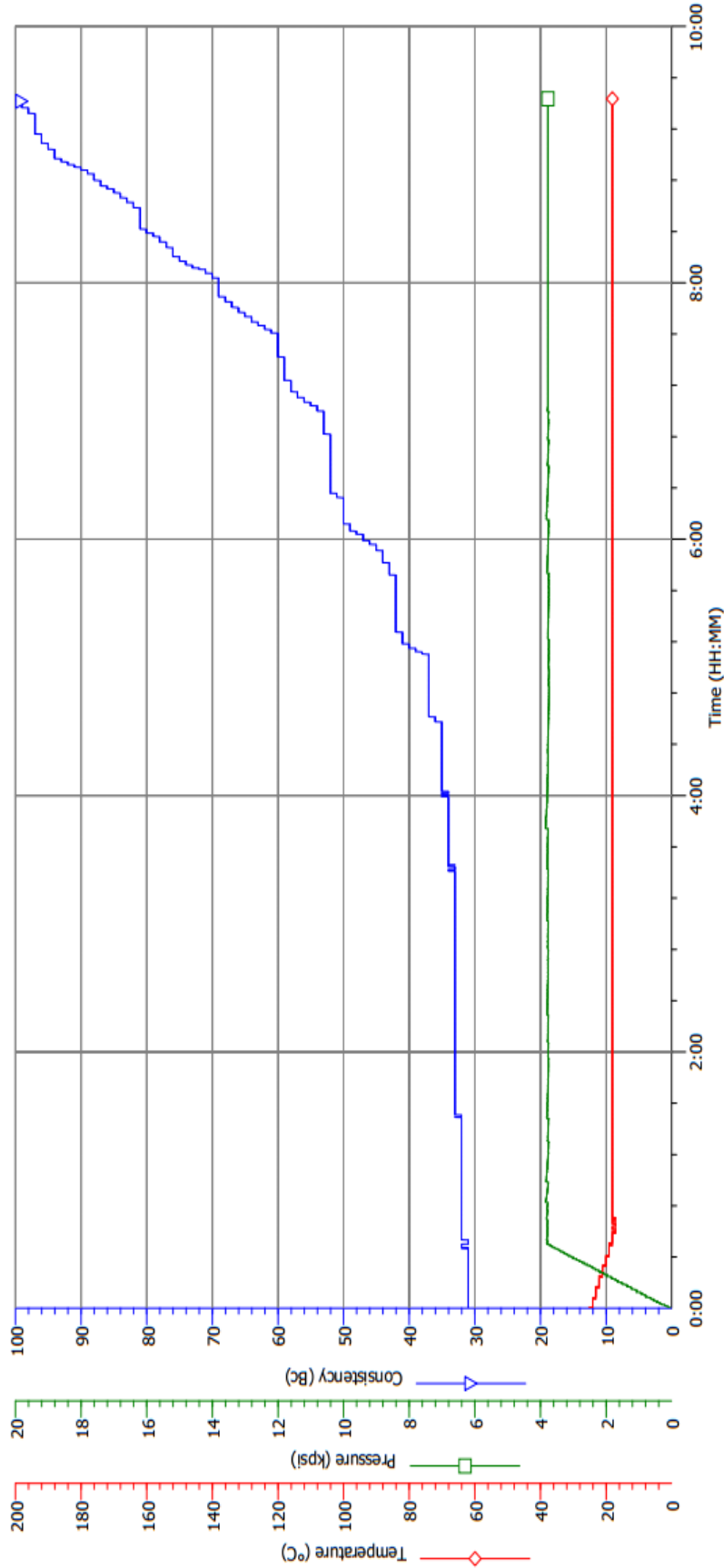
Printed: 5/29/2017 3:35:01 PM

Рисунок 2.16 – График загустевания используемого раствора

Instrument: 7322-698  
Client:  
Job Type:  
Comments:

TT 40Bc: 5:09:00  
TT 50Bc: 6:07:10  
TT 70Bc: 8:02:20  
TT 100Bc: 9:25:10

Test Start: 11/9/2016 1:06:26 PM  
Test Stop: 11/9/2016 10:32:36 PM



**Schlumberger**  
Krasnoyarsk Laboratory

Test File Name: TT\_cementb\_25\_10\_16.tst

Printed: 6/12/2017 10:56:21 PM

Рисунок 2.17 – График загустевания исследуемого раствора

## 2.6 Прочность на сжатие

Определение прочности при сжатии в соответствии с требованиями стандартов API/ISO предполагает испытание образцов цемента кубической формы (размером 5 на 5), выдержанных в воде в заданных условия (температура и давление) в течение определенного периода времени.

Стандарты регламентируют применение двух типов ванн или резервуаров для обработки образцов цемента, помещенных в специальные формы, в воде:

- Ванна (термостат) для обработки при атмосферном давлении (без приложения давления) и температурах до 66°C (150°F), оснащенная мешалкой или системой циркуляции;

- Ванна (автоклав) для обработки под давлением, способная поддерживать давление 20,7 МПа ± 0,345 МПа (3000 ± 50 фунт на кв. дюйм) при соответствующей конечной температуре испытания.

После извлечения из охлаждающей ванны с водой (при температуре 27°C ± 3°C (80°F ± 5°F)) образцы цементного камня сразу же помещают в испытательную машину для определения прочности при сжатии.

Скорость нагружения образцов прочностью выше 3,5 МПа (500 фунтов на кв. дюйм) должна быть 71,7 кН ± 7,2 кН в минуту. Для образцов прочностью 3,5 МПа (500 фунт на кв. дюйм) и ниже скорость нагружения должна быть 17,9 кН ± 1,8 кН в минуту.

Давление в камерах всех моделей создается водой при помощи насоса высокого давления с пневматическим приводом.



Рисунок 2.18 – Тестер прочности на сжатие Chandler Engineering Модель 4207D

Прибор для испытания предела прочности при сжатии Chandler Engineering Модель 4207D отличается простотой в эксплуатации благодаря удобному расположению рабочих органов управления на электронном блоке управления. Простота управления и дополнительная возможность автоматической регистрации данных теста возможны благодаря совместимости тестера прочности на сжатие Модель 4207D с программным обеспечением Chandler Engineering - Система сбора данных и управления Модель 5270.

Тестер прочности на сжатие Chandler Engineering Модель 4207D используется в лабораториях исследования цементов, исследования добавок к

цементам, испытаний, контроля качества цементных заводов и промышленных лабораториях нефтяных сервисных компаний.

Испытания цемента на сжатие необходимо по ряду причин: для установления прочности по программе качества цементного завода, определение прочности в соответствии с руководящими документами, обеспечение контроля требуемой прочности для применения в скважинных работах, и тестов качества для присвоения монограммы API произведенного цемента.

В прошлом многие измерения прочности на сжатие производились с помощью ручного насоса для создания нагрузки на образец. Нагрузка, производимая ручным насосом нестабильна, неоднородна, и как результат давала широкий разброс результатов – создавая трудности получения точных измерений истинной прочности на сжатие.

Ошибки оператора минимизированы простотой панели и удобным расположением средств управления. Работа очень проста. Когда прибор включен переключателем с панели, он находится в безопасном рабочем режиме, потому что для начала любой работы необходимо нажать кнопки управления на панели. Тест начинается с помещения образца в пресс. Затем, когда запущена программа, пресс, зажмет образец с очень малым усилием. Далее, гидравлическая система автоматически будет нагружать образец с выбранным усилием до тех пор, пока Оператор не отпустит кнопку RUN или до разрушения образца. Прочность на сжатие образца считывается с цифрового дисплея датчика по принципу «задержки пикового показания».

Таблица 2.9 – Результаты испытания прочность при сжатии

	Стандартный		Используемый		Стандартный	
Площадь куба см <sup>2</sup>	21	25.5	25	25	25	24.5
Прочность МПа	2	1	6	6	3	3

## 2.7 Определение фильтрационных потерь (водоотдача)

В соответствии рекомендациями стандартов API Recommended Practice 10B-2 определение фильтрационных потерь производится в статических условиях с применением статической ячейки для определения фильтрационных потерь, либо с использованием ячейки для определения фильтрационных потерь оснащенной мешалкой. В случае применения статической ячейки без встроенной мешалки фильтрационные потери определяются после предварительного кондиционирования цементного раствора в консистометре, работающем при атмосферном или при повышенном давлении (в зависимости от требуемых условий испытаний). В случае использования ячейки для определения фильтрационных потерь оснащенной мешалкой, предварительное кондиционирование цементного раствора осуществляется непосредственно внутри самой ячейки.



Рисунок 2.19 - Прибор для определения водоотдачи Chandler Engineering  
Модель 7120

Потеря жидкости (фильтрация) из цементного раствора в пласт может существенно повлиять на их характеристики или повредить пласт. При повышенной фильтрации жидкости из цементного раствора будет нарушена его прочность, что может потребовать дорогостоящих ремонтно-изоляционных работ скважины. Прибор для определения водоотдачи Модели 7120 измеряет свойства водоотдачи глинистых растворов и буровых растворов в соответствии с методиками API и ISO.

Ячейка для определения фильтрационных потерь, работающая при высоких температурах и давлениях (с мешалкой или без нее), оснащается двойным ситом с размером 45 мкм (325 меш)/ 250-мкм (60 меш) и имеет площадь фильтрации 22,6 см<sup>2</sup> (3,5 кв.дюйма).



Рисунок 2.20 – ячейка для цементного раствора от прибора Chandler Engineering Модель 7120

Водоотдача определяется при приложенном к ячейке дифференциальном давлении равном 7000 кПа  $\pm$  300 кПа (1000  $\pm$  50 фунтов на кв.дюйм). Для проведения испытаний при температуре выше 88°C (190°F) используется приемник с функцией создания противодействия, чтобы предотвратить закипание фильтрата при температуре испытания.



Благодаря наличию понятных и наглядных органов управления, конструкция данного прибора для определения водоотдачи Модели 7120 обеспечивает предельную простоту эксплуатации. После помещения цементного раствора в испытательную ячейку программируемый температурный контроллер начинает повышать температуру с необходимой скоростью. Подготовка раствора происходит путём его перемешивания со скоростью 150 об/мин, что аналогично скорости перемешивания в консистометре. Далее ячейка переворачивается и начинается испытание на определение показателя водоотдачи. Сбор отфильтрованной жидкости выполняется с помощью колбы с делениями или ёмкости с противодавлением.

После выделившейся воды, собранный фильтрат измеряют и рассчитывают по формуле API:

$$\text{Водоотдача} = 2V_t \sqrt{\frac{30}{t}} \quad (2.3)$$

где  $V_t$  - объем фильтрата, собранного в то время, когда азот продувается, выраженный в мл;

$t$  - время, выраженное в мин.

Стандартный раствор:

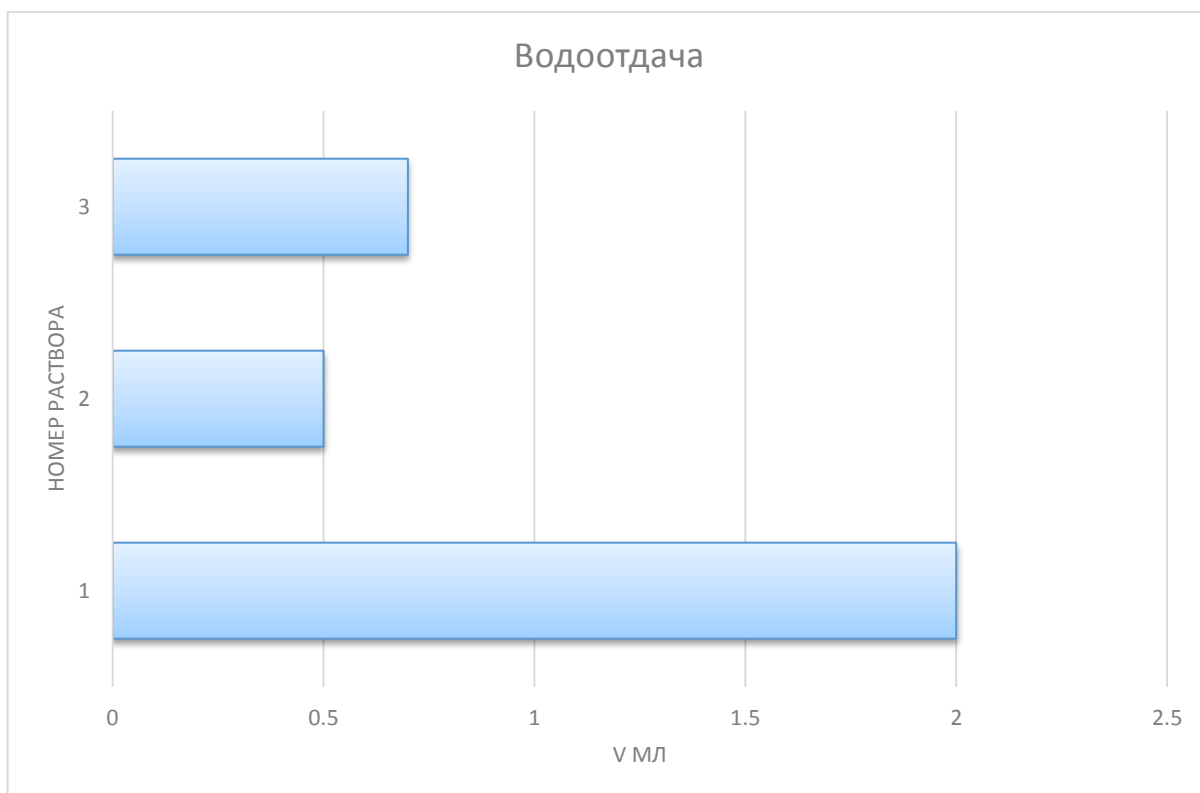
$$2 \cdot 25 \sqrt{\frac{30}{6}} = 112 \text{ мл}$$

Используемый раствор:

$$2 \cdot 27 \sqrt{\frac{30}{30}} = 54 \text{ мл}$$

Исследуемый раствор:

$$2 \cdot 31 \sqrt{\frac{30}{30}} = 62 \text{ м}$$



1 - стандартный раствор, 2 -используемый раствор; 3- исследуемый раствор

Рисунок 2.21 – Результаты водоотдачи

## 2.8 Определение водоотделения

В соответствии с требованиями стандартов API 10B-2 для определения процента несвязной воды необходимо использовать цилиндр вместимостью 250 мл. Перед заполнением цилиндра приготовленный цементный раствор перемешивают в консистомере в течение заданного времени, при этом поддерживают температуру ванны в течение всего периода перемешивания.



Рисунок 2.22 – Атмосферный консистомер модель 165АТ

Консистомер, работающий при атмосферном давлении, также применяется для перемешивания и предварительного кондиционирования цементного раствора в других типах испытаний (определение реологических свойств, водоотдачи).

Консистомер атмосферного давления состоит из вращающегося со скоростью  $150 \text{ об/мин} \pm 15 \text{ об/мин}$  ( $2,5 \text{ об/с} \pm 0,25 \text{ об/с}$ ) контейнера с цементным раствором, оснащенного стационарным лопастным устройством и механизмом потенциометра, жидкостной ванны с контролируемой температурой. Лопасты и все части контейнера, контактирующего с цементным раствором, должны быть изготовлены из коррозионно-стойкого материала.

После кондиционирования раствор помещают в цилиндр, затем накрывают верх, что бы предотвратить испарения флюида. Тест стоит в течении 2 часов, после, выделившаяся свободная вода собирается шприцом и рассчитывается по формуле:

$$\text{Водоотделение} = \frac{V_F}{V_S} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

где  $V_F$  – объём свободной воды мл;

$V_S$  – начальный объём суспензии мл.

Стандартный:

$$\frac{2}{600} \cdot 100\% = 0.3\%$$

Используемый:

$$\frac{0.5}{600} \cdot 100\% = 0.08\%$$

Исследуемый:

$$\frac{0.7}{600} \cdot 100\% = 0.12\%$$



1 - стандартный раствор, 2 -используемый раствор; 3- исследуемый раствор

Рисунок 2.23 – Результаты водоотделения

## 2.9 Определение герметичности

После тестирования прочности на сжатие было видно, что исследуемый раствор набрал меньше прочности, чем используемый, это могло означать, что пеностекло не распределилось равномерно по раствору что привело к недобору прочностных характеристик. Поэтому был произведен дополнительный тест на целостность частиц.

В два одинаковых цилиндра на 100 мл были насыпаны по 2 грамма пеностекла и 2 грамма микросфер и оставлены на 2 часа.

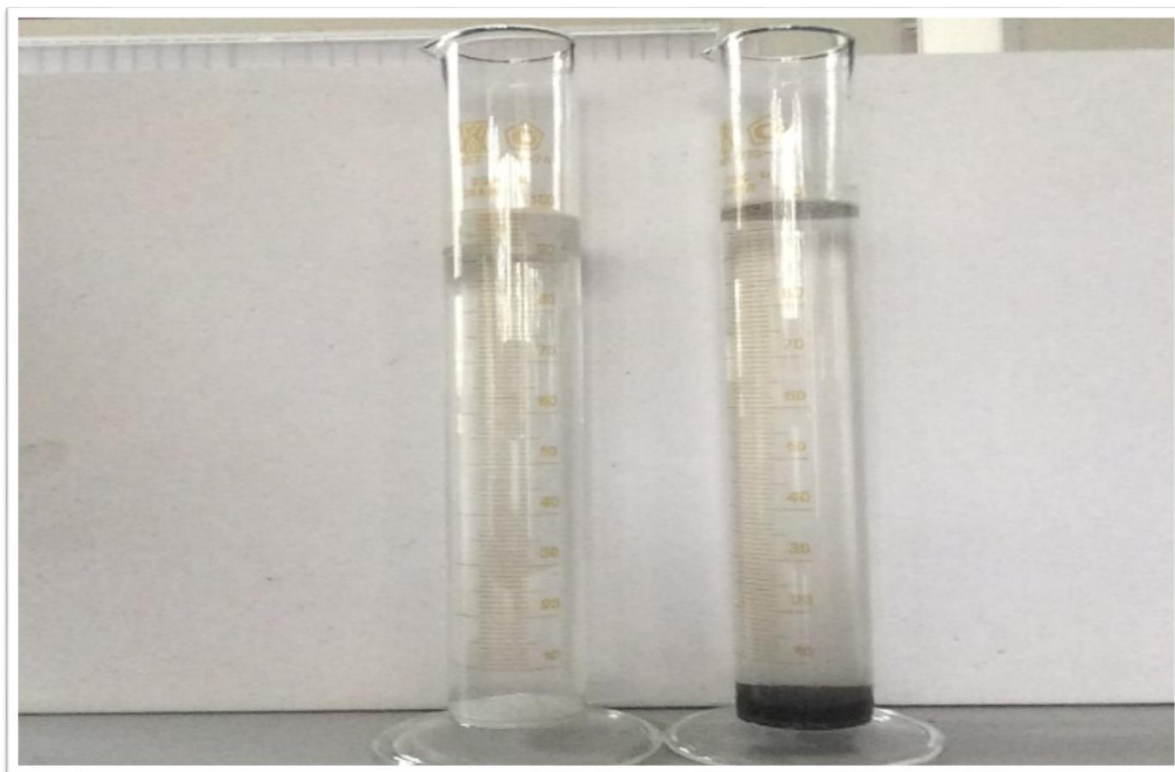


Рисунок 2.24 – Определение герметичности добавок

По истечении времени было видно что микросферы всплыли, а пеностекло осело, что стало показателем трещин в нём. В этом и была проблема прочности на сжатие и могло повлиять еще на какие нибудь характеристики, такая проблема требует дальнейшего рассмотрения.

### 3 Расчётная часть

#### 3.1 Расчёт показателей риска аварии на магистральном нефтепроводе

Для оценки последствий аварий для каждого рассматриваемого сценария определяются зоны действия поражающих факторов в соответствии с документами. Для каждого рассматриваемого сценария производится расчет ожидаемого числа пострадавших от аварии и максимально возможного числа потерпевших, которое определяется числом людей, оказавшихся в превалирующей зоне действия поражающих факторов (исходя из принципа «поглощения большей опасностью всех меньших опасностей»).

Величина потенциального риска  $P(a)$ , год<sup>-1</sup>, в точке (a) определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) Q_j, \quad (3.1)$$

где  $J$  – число сценариев развития аварий;

$Q_{dj}(a)$  – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации  $j$ -го сценария развития аварии, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

$Q_j$  – частота реализации в течение года  $j$ -го сценария развития аварии. Частота реализации сценария развития аварии определяется путем перемножения частоты возникновения аварии на условную вероятность сценария, определенную в подразделе для каждой единицы оборудования.

$$P_a = \sum_{j=1}^J Q_{dj} a Q_j = 0.2 \cdot 5.6 \cdot 10^8 + 0.1 \cdot 1.6 \cdot 10^8 + 0.3 \cdot 8.8 \cdot 10^8 + 3.92 \cdot 10^8 \text{ год}^{-1}$$

Величина индивидуального риска  $R_i$ , год<sup>-1</sup>, для  $i$ -го работника объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле:

$$R_i = \sum_{j=1}^G q_{ji} P(j) \cdot \text{уяз}_{-j}, \quad (3.2)$$

где  $P(j)$  – величина потенциального риска в  $j$ -ой области территории, год<sup>-1</sup>;  
 $q_{ji}$  – вероятность присутствия  $i$ -го работника в  $j$ -ой области территории;  
 $G$  – число областей, на которые условно можно разбить территорию объекта, при условии, что величина потенциального риска на всей площади каждой из таких областей можно считать одинаковой;

$\text{уяз}_{-j}$  – коэффициент уязвимости человека, находящегося в  $j$ -ой области территории объекта.

Вероятность  $q_{ji}$  определяется долей времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории.

$$R_i = \sum_{j=1}^G q_{ji} P(j) \cdot \text{уяз}_{-j} = 0.2 \cdot 3.92 \cdot 10^8 + 1 \cdot 0.784 \cdot 10^8 \text{ год}^{-1}$$

Аналогичным образом могут определяться значения индивидуального риска для иных групп лиц (работников соседних предприятий, посетителей мест массового скопления людей, пассажиров железнодорожного и автотранспорта и т.п.) с учетом  $\text{уяз}_{-i}$ .



Величины коллективного риска, ожидаемых потерь нефти, нефтепродукта, экологического риска, ожидаемого ущерба для всего объекта, его отдельных составляющих или отдельных участков определяются по формуле:

$$R = \sum_{j=1}^J N_j Q_j, \quad (3.3)$$

где  $J$  – число сценариев развития аварий соответственно для всего объекта, его отдельных составляющих или отдельных участков;

$Q_j$  – частота реализации в течение года  $j$ -го сценария развития аварии, год<sup>-1</sup>;

$N_j$  – величина, рассчитанная для  $j$ -го сценария.

Величины коллективного риска определяются по формулам:

а) при определении коллективного риска  $R_{\text{колл}}$ , чел./год – ожидаемого числа погибших при реализации  $j$ -го сценария:

$$R_{\text{колл}} = \sum_{j=1}^J N_{\text{гиб } j} Q_j; \quad (3.4)$$

$$R_{\text{колл}} = \sum_{j=1}^J (N_{\text{гиб}}) Q_j = 0.56 \cdot 10^8 + 0.16 \cdot 10^8 + 1.88 \cdot 10^8 + 8.8 \cdot 10^8 \text{ чел./год},$$

б) при определении ожидаемых потерь нефти, нефтепродукта  $R_m$ , т/год – ожидаемого объема потерянной нефти, нефтепродукта при реализации  $j$ -го сценария:

$$R_m = \sum_{j=1}^J V_j Q_j; \quad (3.5)$$

$$R_m = \sum_{j=1}^J V_j Q_j = 300 \cdot 5.6 \cdot 10^8 + 100 \cdot 1.6 \cdot 10^8 + 500 \cdot 8.8 \cdot 10^8 + 62.4 \cdot 10^6 \text{ т/год},$$

в) при определении экономического ущерба  $R_Y$ , тыс.руб./год – ожидаемый ущерб при реализации j-го сценария:

$$R_Y = \sum_{j=1}^J Y_j Q_j; \quad (3.6)$$

$$R_Y = \sum_{j=1}^J Y_j Q_j = 815 \cdot 5.6 \cdot 10^8 + 792 \cdot 1.6 \cdot 10^8 + 850 \cdot 8.8 \cdot 10^8 + 133.11 \cdot 10^6 \text{ тыс.руб/год},$$

г) при определении экологического риска  $R_{Эн}$ , тыс.руб./год – ожидаемый экологический ущерб при реализации j-го сценария:

$$R_{Эн} = \sum_{j=1}^J Y_{эj} Q_j; \quad (3.7)$$

$$R_{Эн} = \sum_{j=1}^J (Y_{э})_j Q_j = 605 \cdot 5.6 \cdot 10^8 + 587 \cdot 1.6 \cdot 10^8 + 619 \cdot 8.8 \cdot 10^8 + 97.74 \cdot 10^6 \text{ тыс.руб/год}$$

### **3.2 Оценка экологического ущерба от загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами**

Экологический ущерб (урон, нанесенный объектам окружающей среды) при аварии на МНПП (магистральный нефтепродуктопровод) складывается из ущерба, нанесенного окружающей среде за счет загрязнения почв, попадания нефти в водные объекты, поступления в атмосферу летучих углеводородов с поверхности пролива и продуктов сгорания нефти при возникновении пожара и определяется по формуле:

$$Y_{\text{э}} = Y_{\text{зем}} + Y_{\text{атм}} + Y_{\text{вод}} \quad (3.8)$$

В случае если авария произошла на площадочном объекте, платежи за загрязнение окружающей среды будут определяться, главным образом, размером ущерба, причиненного загрязнением атмосферного воздуха.

*Оценка ущерба окружающей среде от загрязнения почв.* Размер возможного вреда при аварийной разгерметизации МН (МНПП) и загрязнении почв нефтью (нефтепродуктами) определяется в соответствии с «Методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» по формуле:

$$Y_{\text{зем}} = \text{СХВ} \cdot S \cdot K_{\text{г}} \cdot K_{\text{исх}} \cdot T_{\text{х}}, \quad (3.9)$$

где СХВ – степень химического загрязнения;

S – площадь загрязненного участка, м<sup>2</sup>;

K<sub>г</sub> – показатель в зависимости от глубины химического загрязнения или порчи почв;

K<sub>исх</sub> – показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения, на которой расположен загрязненный участок;

T<sub>х</sub> – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при химическом загрязнении почв, руб./м<sup>2</sup>.

$$Y_{\text{зем}} = \text{СХВ} \cdot S \cdot K_{\text{г}} \cdot K_{\text{исх}} \cdot T_{\text{х}} = 6 \cdot 3000 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 50000 = 1350 \text{ млн.руб}$$

Степень химического загрязнения зависит от соотношения фактического содержания i-го химического вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв (для нефти (нефтепродуктов) – 1000 мг/кг почвы).

В рамках моделирования возможной аварии максимальное содержание нефти (нефтепродуктов) в почве можно оценить по нефтеемкости грунта, приведенной

в «Методике определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах». При крупных разливах нефти (нефтепродуктов) на сухой грунт принимается СХВ равной 6.

Показатель  $K_r$  рассчитывается в соответствии с фактической глубиной химического загрязнения или порчи почв. Глубина химического загрязнения почв нефтью, нефтепродуктами обычно не превышает 20 см.  $K_r$  принимается равным 1.

Показатель  $K_{исх}$  определяется исходя из категории загрязненных земель и их целевого назначения в соответствии с «Методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды ( $T_x$ ), определяется в зависимости от принадлежности участка к почвенно-климатическим зонам и горным поясам согласно «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Площадь загрязненного участка  $S$  рассчитывается в соответствии с.

*Оценка ущерба окружающей среде от загрязнения атмосферы.* Воздействие на атмосферный воздух при аварийном разливе нефти (нефтепродуктов) будет проявляться в загрязнении атмосферы в результате испарения легких фракций с поверхности пролива и продуктами горения при возникновении пожара.

Расчет ущерба за загрязнение атмосферы определяется в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 28.08.1992 № 632 «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия», РД-19-02-2007:

$$Y_{атм} = 5 \cdot \Sigma (C_i \cdot M_i) \quad (3.10)$$

где  $M_i$  – масса выброса одного загрязняющего вещества в атмосферу, т;

$C_i$  – расчетная ставка платы за выброс 1 тонны  $i$ -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита с учетом коэффициентов, руб., определяемая по формуле:

$$C_i = N_i \cdot K_э \cdot K_{\text{инд}} \cdot K_r \cdot K_{\text{пр}}$$

где  $N_i$  – норматив платы за выброс 1 тонны  $i$ -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, руб. Определяется в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 12.06.2003 № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления»;

$K_э$  – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние атмосферного воздуха), по территориям экономических районов Российской Федерации. Определяется в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 12.06.2003 № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления»;

$K_r$  – коэффициент за выбросы вредных веществ в атмосферный воздух городов.  $K_r = 1,2$  при условии оказания негативного воздействия на атмосферный воздух городов;

$K_{\text{пр}}$  – коэффициент для особо охраняемых природных территорий.  $K_{\text{пр}} = 2$  для особо охраняемых природных территорий, в том числе территорий лечебно-оздоровительных местностей и курортов, а также для районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, определенных в перечне, утвержденном

Постановлением Совета Министров СССР от 10.11.1967 № 1029, Байкальской природной территории и зон экологического бедствия;

$K_{инд}$  – коэффициент, установленный законом о федеральном бюджете на соответствующий год к конкретным годам. Определяющим является год, в котором установлен тот или иной норматив платы.

$$C_i = N_i \cdot K_э \cdot K_{инд} \cdot K_г \cdot K_{пр} = 82 \cdot 1,3 \cdot 1,9 \cdot 1,2 \cdot 2 = 486,1 \text{ руб/т};$$

$$Y_{атм} = 5 \cdot \Sigma (C_i \cdot M_i) = 5 \cdot 486,1 \cdot 2 = 4861 \text{ руб.}$$

$$Y_э = Y_{зем} + Y_{атм} = 1350 \cdot 10^6 + 4861 = 1350,01 \text{ руб.}$$

Так в соответствии с Федеральным законом от 13.12.2010 № 357-ФЗ «О федеральном бюджете на 2011 год и на плановый период 2012 и 2013 годов». нормативы платы за негативное воздействие на окружающую среду, установленные Правительством Российской Федерации в 2003 году и в 2005 году, применяются в 2011 году с коэффициентами 1,93 и 1,58 соответственно.

### **3.3 Экономическая эффективность**

Экономическая эффективность — это соотношение полезного результата и затрат факторов производственного процесса. Для количественного определения экономической эффективности используются количество работ и цена растворов, от чего зависит результативность экономической системы. Для этого нужно постоянно соотносить выгоды и затраты, или, говоря по-другому, вести себя рационально. Рациональное поведение заключается в том, что производитель и потребитель благ стремятся к наивысшей эффективности и для этого максимизируют выгоды и минимизируют затраты.

Таблица 3.10 Расчет цементных работ

	Цена раствора на 1 замес, руб	Цена за 1 работу (15 кубов), руб	Цена за год работ (20 работ), руб
Стандартный	12258	183870	3677400
Используемый	20890	313350	6267000
Исследуемый	10935	164025	3280500

Из таблицы видно, что используемый раствор очень высок по ценовой политике, что требует серьёзного рассмотрения этого вопроса. На сегодняшний день активно развивается импортозамещение, а в нефтегазовой отрасли России ведь все качественные цементные добавки из-за рубежа, поэтому очень остро стоит исследование их замещения на Российские аналоги.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью магистерской диссертации являлась разработка и исследование тампонажного раствора с применением отходов производства золы-уноса и отхода от стеклобоя в цементной композиции.

Так, в результате выполнения работы были проделаны следующие этапы:

- Оценка тампонажных растворов и их технологических характеристик;
- Исследование месторождения, соответствующего выбранным отходам в цементной композиции;
- Анализ полученных результатов.

В результате сравнительного анализа была предложена композиция с химически активными отходами производства. Затем были произведены тестирование и анализ выбранного раствора. Были исследованы различные виды блендов на прочность, время загустевания, реологические свойства, водоотделение, водоотдачу с надлежащими требованиями. На основании произведенных исследований можно сделать вывод, что стандартный раствор показал себя экономически выгодным, но не соответствует необходимым характеристикам, а используемый, несмотря на его дороговизну, не только отвечает всем характеристикам, но и еще лучше показывает себя в тестировании.

Исследуемый раствор обладает хорошими характеристиками и незначительно уступает используемому раствору по результатам тестов, однако он показал недостаточную прочность на сжатие. Это обусловлено тем, что в используемом бленде микросферы являются полыми и полностью герметичными, что исключает просачивание внутрь воды. В исследуемом растворе гранулированное пеностекло, которое так же как и микросферы полые, обладает микротрещинами. В эти микротрещины проникает вода, в результате чего частицы не могут равномерно распределиться по раствору, что и приводит к снижению прочности на сжатие.



Таким образом, из результатов исследования видно, что исследуемый раствор обладает потенциалом для применения его при строительстве скважин, но из-за пониженного значения прочности на сжатие применение его на сегодняшний момент недопустимо. Для решения данной проблемы необходимо провести дополнительные исследования в области получения данного пеностекла: такие трещины могли возникнуть при транспортировке, при просеивании и смешивании раствора. Так же можно попробовать применить пеностекло в более мелкой фракции для других видов растворов, что должно показать приемлемый результат.

Применение отходов производства в тампонировании имеет широкий потенциал для исследования, что в дальнейшем решит сразу несколько проблем: уменьшит количество отходов, сократит затраты на цементировочные работы, а так же решит проблему с импортозамещением.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Об отходах производства и потребления : Федеральным законом от 28 декабря 2016 года N 486-ФЗ.
- 2) Об отходах производства и потребления : Федеральным законом от 29 декабря 2014 года N 458-ФЗ.
- 3) Нельсон, Э. Б. Основные принципы цементирования скважин / Э. Б. Нельсон // Шестая статья из серии вводных статей об основах геологоразведки и добычи. – 2016. – № 5. – С. 76–78.
- 4) Баёв, М. А. Влияние химических добавок на реологические свойства тампонажных растворов с отходами углеобогащения/ В.А. Хямяляйнен, К.Г. Дятлов, А.Г. Шевцов // Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности. 18-21 сентября 2012 г.». – Кемерово, 2012. – С. 254-251.
- 5) Баёв, М. А. О некоторых проблемах технологии добычи метана из угольных пластов и возможных путях их решения/ А.П. Коровицын, А.Г. Шевцов, В.А. Хямяляйнен// Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности. 18-21 сентября 2012 г.». – Кемерово, 2012. – С. 124-125.
- 6) Пат. 2470713 Российская Федерация, МПК<sup>51</sup> В03В 7/00 (2006.01). Способ получения полых частиц низкой плотности / Андо Такаси (JP), Хирадзима Цуйоси (JP), Нонака Мориясу (JP), Осако Юдзи (JP) ; заявитель и патенто-обладатель Идемицу Козан Ко., ЛТД. (JP), Киусу Университи (JP), Джэпэн Коул Энерджи Сентер (JP). – № 2009145282/03; заявл. 01.05.08 ; опубл. 27.12.12, Бюл. № 36.
- 7) Шатов, А. А. Влияние солевой композиции из отходов содового производства на свойства тампонажных растворов / А. А. Шатов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2008. – № 16. – С. 455–463.

8) Утилизация отходов производства [Электронный ресурс] : Главная страница общества с ограниченной ответственностью «Компания ПромУтилизация» – Режим доступа: <http://promytil.ru/>.

9) Пат. 2284335 Российская Федерация, МПК 51 С 08 J 5/00 (2006.1). Способ получения органоминеральных композиций / Ляшенко Александр Викторович (RU), Бакшуттов Вячеслав Степанович (RU), Судаков Вячеслав Радионович (RU), Панфилов Юрий Евгеньевич (RU), Кручинина Наталья Евгеньевна (RU), Румянцева Ирина Анатольевна (RU); заявитель и патенто-обладатель ОАО "Тантал" (RU). – № 2005113203/04 ; заявл. 03.05.05 ; опубл. 27.09.06, Бюл. № 23.

10) Катеев, Р. И. Пеностекло – Облегчающая добавка для тампонажных растворов/ Р.И. Катеев, С.И. Амерханова, М.Г. Газизов, Д.В. Латыпова, А.М. Зарипов // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть. Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 17. – С. 232–235.

11) Разведка и добыча нефти [Электронный ресурс] : производят реагенты для нефтедобычи, транспорта и подготовки нефти, сервис буровых растворов, сервис водооборотных систем, повышение нефтеотдачи. «Миррико». – Режим доступа: <https://www.mirrico.ru/>.

12) Предприятие отечественной химической индустрии [Электронный ресурс] : производят реагенты для нефтедобычи. «ХимПром». – Режим доступа: <http://www.himprom.com/>.

13) Промышленной химии [Электронный ресурс] : занимающееся оптовой реализацией промышленной химии, химического сырья, реагентов для водоочистки, реагентов для бурения и нефтегазовой добычи. «ПромХим». – Режим доступа: <http://www.promhim66.ru/>.

14) Малышев Н.А., Поляков А.А. Нефтегазовая геология. Теория и практика / Колосков В.Н. // Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности малышевского резервуара на северо-востоке западной сибери. В 10 т. Т. 8. – Москва, 2013. – Гл. 4. – С. 66–71.

15) Рябоконт С.А., Ашрафьян М.О., Гринько Ю.В. Седиментационно-устойчивые тампонажные составы для цементирования горизонтальных и пологих скважин // Нефтяное хозяйство. – 2003. – № 4. – С. 98–101.

- 16) А.П. Зубехин Белый портландцемент : науч. изд. / А.П. Зубехин, С.П. Голованова, П.В. Кирсанов. – Ростов-на-Дону : Химия материалов, 2004. – 263 с.
- 17) Шилл Ф. Пеностекло. Производство и применение: методическое пособие / Шилл Ф. – Москва : 1965. – 308 с.
- 18) Specification for Cements and Materials for Well Cementing: ANSI/API SPECIFICATION 10A TWENTY-FOURTH EDITION/ American Petroleum Institut 2010. – 52 с.
- 19) Recommended Practice for Testing Well Cements: API RECOMMENDED PRACTICE / American Petroleum Institut 2013. – 124 с.
- 20) Instruction manual model 3530 Viscometer / Chandler Engineering – Oklahoma 74012 U.S.A. – April 2013. – 33 с.
- 21) Ю.М.Басарыгин Цементирование : науч. изд. / А.И. Булатов, Ю.М. Проселков– Москва: Закачивание скважин, 2000. – 667 с.
- 22) Логвиненко С.В. Цементирование нефтяных и газовых скважин: методическое пособие / Логвиненко С.В.– Москва : 1986. – 28- с.