

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка рецептур облегченных тампонажных растворов с пониженной водоотдачей</b>
УДК 622.257.122-047.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Карпенко Владислав Эдуардович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	К.Х.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин	Черемискина М.С.	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев А.В.	К.Т.Н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики).
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов.
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
---

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Карпенко Владиславу Эдуардовичу

Тема работы:

Разработка рецептур облегченных тампонажных растворов с пониженной водоотдачей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования: понизители фильтрации Область применения: облегченные тампонажные растворы
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Назначение тампонажных растворов и основные требования к ним             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 Основные этапы процесса гидратации зерен цемента</li> <li>1.2 Методы получения облегченных тампонажных растворов с использованием различных добавок</li> <li>1.3 Применение облегченной минеральной добавки</li> <li>1.4 Требования к пониженной водоотдаче облегченных тампонажных растворов</li> </ol> </li> <li>2. Методика и оборудование при проведении экспериментальных исследований             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Определения плотности тампонажных растворов</li> <li>2.2 Методика определения растекаемости тампонажных растворов</li> </ol> </li> </ol>

	<p>2.3 Методика определения водоотделения тампонажных растворов</p> <p>2.4 Методика определения времени загустевания тампонажных растворов</p> <p>2.5 Методика определения прочности образцов цементного камня</p> <p>2.6 Методика определения водоотдачи тампонажных растворов</p> <p>2.7 Методика приготовления облегченных тампонажных растворов для проведения испытаний</p> <p>3. Исследования рецептур облегченных тампонажных растворов с пониженной водоотдачей</p> <p>3.1 Исследование способов понижения плотности тампонажных растворов с использованием облегчающих добавок</p> <p>3.2 Исследование технологических свойств облегченных тампонажных растворов с различными облегчающими добавками</p> <p>3.3 Исследование фильтрационных свойств облегченных тампонажных растворов с использованием понизителей фильтрации</p>
<b>Перечень графического материала</b>	Необходимость в графических материалах отсутствует
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н., Романюк В.Б.
Социальная ответственность	Ассистент отделения общетехнических дисциплин Черемискина М.С.
Часть на иностранном языке	Старший преподаватель отделения иностранных языков Лысунец Т.Б.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Formulation of lightweight cementing slurries with reduced water loss	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	к.х.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Карпенко Владислав Эдуардович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Карпенко Владиславу Эдуардовичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	График выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценка эффективности нововведений и др. Раздел ВКР должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.
Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочникам Единых норм времени (ЕНВ) и др.
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 20%

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Расчет капитальных и текущих затрат и финансового результата реализации проекта
Планирование и формирование бюджета научных исследований	График выполнения работ
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной технической и экономической эффективности внедрения новой техники или технологии

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

Линейный календарный график выполнения работ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	27.03.2019
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Романюк В.Б.	К.Э.Н.		27.03.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Карпенко Владислав Эдуардович		27.03.2019

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b> 2БМ73	<b>ФИО</b> Карпенко Владислав Эдуардович
------------------------	---

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 Нефтегазовое дело

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал) и области его применения	<i>Исследуются облегченные тампонажные растворы с добавлением в них различных облегчающих добавок и полимеров. В ходе работы используются следующие компоненты: Дистиллированная вода, портландцемент ПЦТ-I-100, бентонитовая глина, вермикулитовый песок, алюмосиликатные полые микросферы, ОМД, биокремнезём, микрокремнезём, полимеры. Исследуемые растворы используются в процессе цементирования нефтяных и газовых скважин.</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> 1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства 1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	<i>Представить требования, предъявляемые к сотрудникам лаборатории перед допуском к работе, а также рекомендации для комфортной и безопасной работы в лаборатории.</i>
<b>2. Профессиональная социальная безопасность</b> 2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования 2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований 2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	<i>Проанализировать вредные и опасные факторы, влияющие на человека, возникающие при исследовании свойств облегченных тампонажных растворов в лабораторных условиях: Повышенная температура поверхности оборудования, пониженная влажность воздуха, недостаток естественного света, повышенная температура воздуха в рабочей зоне, недостаточная освещенность рабочей зоны, раздражающие и токсические вещества, электрический ток. Проанализировать вредные и опасные факторы, влияющие на человека, возникающие при работе с цементом на производстве: повышенная запыленность воздуха рабочей зоны.</i>
<b>3. Экологическая безопасность</b> 3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду 3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	<i>Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду, а также необходимые мероприятия по защите окружающей среды.</i>

3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> 4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования 4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований 4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	<i>В лаборатории возможно возникновение пожара.  Привести обоснование рекомендуемых мероприятий по предотвращению пожара, и разработать порядок действий при его возникновении.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина Мария Сергеевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Карпенко Владислав Эдуардович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность) – Нефтегазовое дело  
 Уровень образования – магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06-07.06.2019
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01 марта 2019	1. Проведение литературного обзора по теме	20
08 марта 2019	2. Утверждение методики проведения исследований и обработки данных	5
22 апреля 2019	3. Проведение исследований понизителей фильтрации для облегченных тампонажных растворов	10
06 мая 2019	4. Анализ полученных экспериментальных данных, промежуточная аттестация выполнения диссертации	5
23 мая 2019	5. Предварительная защита диссертации	5

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев Константин Мадестович	К.Х.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев Артем Владимирович	К.Т.Н.		



## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 113 страниц, 10 рисунков, 18 таблиц, 62 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: облегченный тампонажный раствор, водоцементное отношение, облегчающие добавки, облегченная минеральная добавка, показатель водоотдачи, понизители фильтрации, гидроксипропилцеллюлоза, карбоксиметилкрахмал.

Объект исследования: облегченные тампонажные материалы.

Предмет исследования: понизители фильтрации в качестве добавок для снижения фильтрации облегченных тампонажных растворов.

Цель работы — разработка составов облегченных тампонажных растворов, обладающих пониженной водоотдачей, которые могут применяться при заканчивании скважин в сложных горно-геологических условиях

Задачи:

- провести обзор российской и зарубежной литературы по теме научного исследования, в том числе по современным системам облегченных тампонажных растворов и требованиям к их пониженной водоотдаче;
- разработать методику проведения экспериментальных исследований;
- разработать рецептуры модельных облегченных тампонажных растворов с различными облегчающими добавками, который соответствует стандарту ГОСТ 1581-96 «Портландцемент тампонажный. Технические условия»;
- провести исследование свойств облегченных тампонажных растворов с различными облегчающими добавками;
- оптимизировать выбранные рецептуры для снижения показателя водоотдачи в динамических условиях.

Область применения: результаты исследований могут использоваться при проектировании рецептур облегченных тампонажных растворов, к которым применяются высокие требования к пониженной водоотдаче с их применением при строительстве глубоких скважин в сложных горно-геологических условиях.

## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

- **тампонажный раствор**: гетерогенная полидисперсная система, способная в течение некоторого времени переходить из вязко-пластичного состояния в твердое как на воздухе, так и в жидкости.
- **полимер**: высокомолекулярное соединение, состоящее из большого числа повторяющихся одинаковых или различных по строению атомных группировок, соединенных между собой химическими или координационными связями в длинные линейные или разветвленные цепи.
- **показатель водоотделения**: параметр, характеризующий водоудерживающую способность и седиментационную устойчивость тампонажных растворов в статичных условиях.
- **показатель водоотдачи**: параметр, показывающий количество жидкости, отделяющееся от тампонажного раствора при перепаде давления, которое развивается в процессе закачки в динамических условиях.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения с соответствующими расшифровками:

ПЦТ – портландцемент тампонажный;

ЦТО – цемент тампонажный облегченный;

ММП – многолетнемерзлые породы;

АСПМ – алюмосиликатные полые микросферы;

ОМД – облегченная минеральная добавка;

ГТС – газонаполненные тампонажные системы;

ГЭЦ – гидроксипропилцеллюлоза;

КМК – карбоксиметилкрахмал.

В тексте документа допускается приводить без расшифровки общепринятые сокращения, установленные в национальных стандартах и соответствующие правилам русской орфографии: с. - страница; т.е. - то есть; т.д.

- так далее; т.п. - тому подобное; и др. - и другие; в т.ч. - в том числе; пр. - прочие; т.к. - так как; г. - год; гг. - годы; мин. - минимальный; макс. - максимальный; шт. - штуки; св. - выше; см. - смотри; включ. - включительно и др.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

ГОСТ 1770-74 Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки.

ГОСТ 26798.1-96 Цементы тампонажные. Методы испытаний.

ГОСТ 26798.2-96 Цементы тампонажные типов I-G и I-H. Методы испытаний

ГОСТ 29227-91 Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки градуированные.

ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.

ГОСТ Р 51337-99. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей

ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

## Оглавление

	С.
Введение	14
1 Аналитический обзор	15
1.1 Механизм перехода тампонажного раствора в тампонажный камень	19
1.2 Современные облегченные тампонажные растворы	22
1.3 Современные воздухововлекающие добавки	30
1.4 Пониженная водоотдача облегченных тампонажных растворов	32
1.5 Выводы по аналитическому обзору	36
2 Методика проведения исследований	40
2.1 Методика определения плотности тампонажного раствора	40
2.2 Методика определения растекаемости тампонажного раствора	41
2.3 Методика определения водоотделения тампонажного раствора	43
2.4 Методика определения времени загустевания тампонажного раствора	44
2.5 Методика определения прочности на изгиб образцов тампонажного камня	47
2.6 Методика определения водоотдачи тампонажного раствора	50
2.7 Методика приготовления облегченного тампонажного раствора для испытаний	53
3 Результаты экспериментальных исследований	55
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
4.1 Планирование научно-исследовательских работ	56
4.2 Бюджет научно-технического исследования	61
4.3 Определение эффективности исследовательского проекта	66
5 Социальная ответственность	68
5.1 Введение	68
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
5.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	69
5.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	70
5.3 Профессиональная социальная безопасность	70
5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	71
5.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть	72

в лаборатории при проведении исследований	
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов	80
5.4 Экологическая безопасность	81
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	83
5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	83
5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	84
5.6 Результаты выполнения раздела	85
Заключение	87
Список использованных источников	90
Приложение А	96
Оптический диск с электронной версией ВКР	113

## **Введение**

В настоящее время с развитием технологий бурения и открытием новых месторождений усложняется процесс строительства скважин, поскольку увеличиваются их глубины, интервалы бурения обладают различными осложнениями и аварийноопасными зонами. При этом процесс крепления скважины является заключительным этапом и наиболее ответственным с точки зрения сохранения коллекторских свойств пласта.

Сложные горно-геологические условия предполагают, что цементирование может проводиться в горных породах с аномально-низким пластовым давлением, что в свою очередь требует применения облегченных тампонажных растворов и оправдывается с экономической точки зрения. При этом современные рецептуры таких тампонажных растворах основаны на применении традиционных облегчающих наполнителях и высоком водоцементном отношении.

В скважинных условиях под действием избыточного давления многие из облегчающих добавок разрушаются, что приводит к резкому увеличению плотности тампонажного раствора с вероятным развитием гидроразрыва пласта, при этом сам раствор может стать непрокачиваемым. Результатом высокого водоцементного отношения является повышенная фильтрация жидкости затворения из раствора в скважинных условиях. По этой причине могут ухудшаться коллекторские свойства пласта после заполнения пор и трещин фильтратом тампонажного раствора с последующим образованием конгломератов. Кроме того, ухудшается процесс гидратации зерен цемента и снижается качество крепления скважины.

В связи с этим актуальной является проблема разработки такой рецептуры облегченного тампонажного раствора, который будет обладать низкой плотностью с устойчивыми к действию скважинных давлений и температур добавками, а также иметь низкий показатель фильтрации.

## 1 Аналитический обзор

Тампонажный раствор – гетерогенная дисперсная система, которая с течением времени способна переходить из жидкообразного состояния в твердое как на воздухе, так и в жидкой среде. Тампонажные растворы состоят из специально подобранных реагентов или их смесей и применяются для заполнения заколонного пространства скважины. С течением времени происходит твердение и упрочнение раствора, в результате чего образуется тампонажный камень. В зависимости цели цементирования тампонажные смеси выполняют ряд соответствующих функций.

Изоляция интервалов залегания нефти и газа. Интервалы расположения продуктивных пластов цементируются для предотвращения развития фильтрации пластовых вод и флюидов, а также образования заколонных перетоков. Как следствие, применяемый тампонажный раствор должен надежно герметизировать затрубное пространство скважины в течении все срока ее эксплуатации.

Защита обсадных колонн от коррозии и повышение их устойчивости к нагрузкам. Поскольку пластовые воды обладают высокой минерализацией, это значительно интенсифицирует коррозию обсадных труб. Соответственно, изоляция затрубного пространства исключает взаимодействие обсадной колонны с пластовыми водами и значительно продлевает срок ее службы. Кроме того, образованное монолитное кольцо тампонажного камня повышает устойчивость используемых труб к различным нагрузкам.

Закрепление обсадных колонн. Цементирование применяется для ликвидации зон с возможными осложнениями. К таким относятся интервалы с возможными обвалами стенок скважины и возникновением каверн.

Укрепление стенок скважины в трещиноватых горных породах. Проникая в трещины неустойчивых горных пород и затвердевая в них, раствор образует вокруг скважины конгломератную массу, устойчивую к действиям различных нагрузок.

Независимо от применения тампонажные растворы имеют многофункциональное назначение. Помимо главных функций цементных смесей, которые проявляются при тампонировании обсадных колонн, можно также выделить второстепенные функции.

Ликвидация поглощения и водопроявлений. Проницаемые каналы заполняются тампонажной смесью, изолируя тем самым зону вокруг скважины. После затвердевания тампонажный камень становится устойчив к действию перепадов давления при выполнении различных технологических операций.

Создание мостов для проведения специальных работ. Цементные мосты служат в качестве опоры для различного рода устройств при проведении исследований и в качестве изоляции интервалов скважины, а также для забуривания новых стволов, перехода на вышележащий объект, консервации скважины.

В первую очередь при приготовлении и применении тампонажных растворов к ним предъявляются технические требования.

Особое внимание уделяется показателю растекаемости, поскольку раствора должен оставаться текучим в течении времени, пока осуществляется его закачка скважину и сохранять свою подвижность после остановок циркуляции. После окончания процесса цементирования тампонажный раствор должен быстро загустевать и схватываться, а тампонажный камень на третьем этапе структурообразования набирать прочность как можно быстрее.

Тампонажный раствор должен легко проникать в поверхность горных пород порового и трещиноватого типа, но при этом не фильтроваться в них под действием тяжести и перепадов давления. Это предъявляет к раствору требование оставаться седиментационноустойчивым после окончания процесса закачки.

Образующийся в результате твердения тампонажный камень должен иметь достаточное сцепление с обсадными трубами и горными породами, а также обладать механической прочностью и устойчивостью к воздействию



нагрузок и пластовых вод. Он также защищает металл от возникновения очагов коррозии и преждевременного разрушения обсадной колонны.

Тампонажный раствор должен обладать таким гидравлическим сопротивлением, чтобы во время продавки через бурильные трубы и затрубное пространство не требовалось большое давление и низшая передача цементировочного агрегата, но в интервалах расположения проницаемых горных породах это сопротивление должно значительно увеличиваться с целью предотвращения проникновения раствора в пласт.

Тампонажный раствор должен изменять свои параметры при проведении обработок, при этом оставаться инертным по отношению к цементируемым горным породам и встречающимся пластовым минерализованным водам.

В скважинных условиях с высокими температурами и давлениями раствор должен сохранять свою стабильность, которая заключается в отсутствии усадки во время схватывания и твердения, когда могут активно образовываться нарушения сплошности цементного камня. Данное требование необходимо соблюдать, поскольку по трещинам, пустотам и каналам может проходить фильтрация жидкости и газа.

Технологические требования предъявляются с целью разработки безопасного тампонажного раствора, который может использоваться в производственных условиях с максимальной производительностью. Такие растворы в процессе продавки должны легко прокачиваться, оставаться инертными к промывочным жидкостям, легко удаляться с используемого оборудования, быть нетоксичными для производственного персонала.

Экономические требования подразумевают, что разрабатываемый тампонажный раствор должен быть недорогим, а в его составе использоваться доступные химические реагенты.

Анализируя данные требования, можно сделать вывод о том, что в настоящее время практически невозможно получить такие тампонажные растворы, которые будут удовлетворять каждому из рассмотренных пунктов.

Поэтому в процессе разработки, соблюдая одно предъявляемое требование, необходимо контролировать, в какой степени будут удовлетворяться остальные. Также в зависимости от условий использования тампонажных растворов и геолого-технической обстановки требования подразделяются на основные и второстепенные, которые могут соблюдаться не так строго [14].

Во время цементирования скважин на месторождениях Крайнего Севера, Западной Сибири, шельфов морей и других областей возникает проблема из-за сложных геолого-технических условий строительства скважин. В первую очередь данные месторождения характеризуются высокими забойными температурами, при низких в верхней части разреза. В результате процесса продавки тампонажной смеси цемент испытывает нагрев и дальнейшее охлаждение с затвердеванием в низких температурах. Наибольшее проблемой является затвердевание цементов в условиях многолетне-мерзлых горных пород (ММП). Они не схватываются, а замерзают при температурах ниже нуля. Если происходит замерзание до начала схватывания, то в нем образуются прожилки льда, которые превращаются в трещины при растеплении образца и дальнейшем твердении. Трещины являются причиной снижения прочности тампонажного камня и роста проницаемости.

Если скважина подразумевает эксплуатацию с циклически-изменяющимися температурами, тампонажный раствор должен обладать достаточной термостойкостью, исключаяющей старение тампонажного камня [2]. Кроме того, в работе Р.А.Гасумова по исследованию крепления скважин в районах крайнего севера в ММП отмечается, что с ростом расстояния от обсадной колонны до стенки скважины ухудшается качество сцепления цементного камня с обсадными трубами, что в конечном итоге может приводить к ненадежному креплению скважины и развитию заколонных перетоков, в частности миграции газов [8].

В работе А.А.Перейма рассматривается эффект контракции для условий цементирования обсадных колонн при низких, нормальных и умеренных

температурах. Данный эффект заключается в том, что между цементным камнем и поверхностью обсадной трубы возникает зазор, который может стать причиной возникновения межколонных газопроявлений, межколонных перетоков флюидов с насыщением вышележащих пластов, грифонообразований и открытых газовых фонтанов [25].

При цементировании в слабосвязанных горных породах при аномально низких пластовых давлениях, которые с большой долей вероятности могут поглощать тампонажный раствор, из-за своей склонности к трещинообразованию и гидроразрыву, в результате чего возможен недоподъем тампонажного раствора до устья скважины, межколонные газопроявления. Зачастую при цементировании в таких условиях не обеспечивается сплошность цементного кольца, в некоторых местах за обсадной колонной цементный камень отсутствует частично или полностью [26, 27, 32]. Нарушение герметичности затрубного пространства приводит к уменьшению возможного дебита скважины, а также к нарушениям законов охраны недр [54].

### **1.1 Механизм перехода тампонажного раствора в тампонажный камень**

Для понимания механизма действия добавок для понижения фильтрации, а также основ регулирования свойств тампонажного раствора и тампонажного камня, необходимо рассмотреть процессы, протекающие в период образования цементного камня из тампонажной смеси.

Основной частью портландцемента являются клинкерные минералы, получаемые искусственным путем при обжиге смеси известняка с глиной при температуре до 1450 °С. Состав смеси для обжига строго регламентируется, чтобы в нем содержалось строго определенное соотношение используемых оксидов: кальция  $\text{CaO}$  – 64-68 %, кремния  $\text{SiO}_2$  – 19-23 %, алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4-8 %, железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3-6 %. Во время обжига данная смесь частично расплавляется, а получаемый продукт обжига имеет вид гранул размером до 30 мм и называется

клинкером. Состав клинкера: трехкальциевый силикат, двухкальциевый силикат, трехкальциевый алюминат, четырехкальциевый алюмоферрит, клинкерное стекло.

В портландцементном клинкере трехкальциевый силикат содержит примеси оксидов магния, алюминия, железа, хрома и в такой разновидности называется алитом, а двухкальциевый силикат существует в  $\beta$  – форме, содержит примеси оксидов марганца, хрома, серы, фосфора и называется белитом. В общем виде клинкер должен содержать не менее 75 % алита и белита, в том числе не менее 55 % алита.

Алит придает портландцементу качества вяжущего вещества - быстрое твердение при умеренно быстром схватывании. Медленная гидратация белита обеспечивает долговечность тампонажного камня в результате залечивания появившихся в процессе его твердения микроповреждений.

Портландцемент получают помолом клинкера с обязательным добавлением к нему 3 ... 7 % для регулирования скорости схватывания тампонажного раствора и повышения прочности тампонажного камня [22].

При смешивании сухого портландцемента с жидкостью затворения начинается процесс гидратации с растворением поверхности клинкерных минералов. Продукты растворения в виде отдельных ионов и их гидратов переходят в жидкость затворения, которая постепенно насыщается продуктами реакции вплоть до полного насыщения. Затем в этом насыщенном растворе возникает новая кристаллическая фаза. Скорость растворения поверхности зерен цемента определяет скорость всего процесса гидратации, которая, в свою очередь, напрямую связана со скоростью схватывания и твердения. С момента образования цементного геля начинается процесс структурообразования.

Продуктом гидратации алита и белита является гидросиликат кальция, который по строению своей кристаллической решетки близок к природному минералу тобермориту -  $C_5S_6H_5$ . Новообразования концентрируются, главным

образом, вокруг частично растворенных зерен исходных минералов клинкера, образуя тонкопористую массу, которую принято называть цементным гелем.

Размеры пор цементного геля меньше, чем размеры элементарных пакетов тоберморита. Поэтому кристаллизация последнего в порах геля невозможна. Она происходит только после диффузии продуктов растворения поверхности цементных зерен через оболочку цементного геля в межчастичное пространство. Связанная вода составляет примерно 20 % от массы цемента. Таким образом, в результате гидратации количество жидкости затворения уменьшается, а количество дисперсной фазы тампонажного раствора увеличивается за счет того, что часть воды, вступившей в реакцию с цементом, переходит в его состав.

Зерна цемента и элементарные пакеты тоберморита начинают контактировать друг с другом острыми краями и ребрами, на которых толщина гидратной оболочки существенно меньше, а вследствие этого меньше и силы отталкивания. В результате образуется сетчатая структура из зерен цемента и элементарных пакетов тоберморита, пронизывающая весь объем раствора. Такая структура тиксотропна, следовательно, она способна восстанавливаться в течении некоторого времени после ее разрушения за счет образования новых связей между частицами твердой фазы.

С ростом количества и размеров кристаллов тоберморита происходит упрочнение коагуляционной структуры в тампонажном растворе. Это приводит к увеличению количества связей между зернами цемента и заменой гидратных оболочек на непосредственную связь между частицами. Появление новых элементарных пакетов тоберморита вызывает увеличение числа контактов между частицами, а их рост в структуре повышает площадь каждого из контактов. В результате в тампонажном растворе начинают преобладать прочные химические связи над связями через гидратные оболочки. Это является началом схватывания. Следующим наступает процесс твердения. Происходит окончательное формирование кристаллизационной структуры, имеющей

высокую механическую прочность и упруго-хрупкие свойства. Разрушение связей между частицами таких структур необратимо [33].

В своей работе П.С.Чубик рассматривал механизм действия добавок, которые также используются в исследовании.

Принцип действия пластификаторов заключается в обволакивание молекулами активных центров, которые образуются на острых краях зерен цемента и ребрах образующегося тоберморита в процессе структурообразования. В результате уже возникшее между ними сцепление ослабляется, а новые сцепления частиц блокируются. Таким образом процесс образования структуры в тампонажном растворе значительно замедляется, прочность уже образованной коагуляционной структуры снижается, что также приводит и к снижению реологических параметров раствора, таких как пластическая вязкость и динамическое напряжение сдвига.

Механизм действия понизителей фильтрации заключается в увеличении содержания в тампонажном растворе связанной воды, повышении вязкости дисперсионной среды, снижении проницаемости пристволенной зоны скважины (за счет образования внутренней фильтрационной корки). При этом в качестве наиболее популярного понизителя фильтрации указывается бентонит [40].

## **1.2 Современные облегченные тампонажные растворы**

Основное назначение облегченных тампонажных растворов – цементирование обсадных колонн скважин в горных породах с низкими градиентами гидроразрыва и в поглощающих горизонтах, а также с целью облегчения прокачки столба тампонажной смеси до заданной высоты. Кроме того, данные растворы применяются для снижения затрат на цементирование скважины за счет экономии высококачественного тампонажного цемента.

На месторождениях США и Канады, особенно в северных регионах, свое распространение получили облегченные тампонажные растворы “Поларсет-1600”, “Поларсет-1450”, “Партек Пармавелл-1600”, “Партек Пармавелл-1450” на

основе гипсоцементных смесей [2]. В отечественной промышленности облегченные тампонажные растворы в основном получают увеличением содержания жидкости затворения при одновременном повышении водоудерживающей способности, зачастую за счет замены части вяжущего вещества бентонитом, получая таким образом гельцемент [7,31]. Существуют различные подходы для снижения плотности тампонажной смеси:

- Замена части или всей жидкости затворения жидкостью меньшей плотности;
- Замена всего или части вяжущего вещества вяжущим веществом меньшей плотности;
- Замена всей или части добавки добавкой меньшей плотности; части вяжущего вещества специальной добавкой, обладающей меньшей по сравнению с ним плотностью;
- Замена объема твердых и жидких фаз газообразной фазой [9].

Гельцементами называются облегченные тампонажные растворы, в составе которых в качестве облегчающей добавки используются в большинстве рецептов монтмориллонитовые глины, образующие при затворении коллоидную систему. Поскольку бентонитовые глинопорошки обладают плотностью 2 300-2 600 кг/м<sup>3</sup>, что незначительно меньше плотности сухого цемента, то вклад от замены части цемента более легкой твердой фазой минимален и снижение плотности раствора достигается за счет использования большого количества воды при высоком водоцементном отношении. Глина в данном случае регулирует реологические свойства тампонажного раствора и связывает избыточное количество жидкости затворения за счет своей развитой поверхности. Допускается введение в раствор бентонита в количестве до 20 % от общей массы твердой фазы. [9].

Гельцементные растворы получили подробное описание в большом количестве работ. В своей работе Данюшевский В.С. [11] рекомендовал затворение портландцемента на водной суспензии бентонита или палыгорскита.

При этом приводятся рекомендации для выбора той или иной облегчающей добавки, а также номограммы для расчета состава облегченного тампонажного раствора. Крутицкий Н.Н. [16] рекомендовал вводить палыгорскитовую глину с концентрацией 5-7% от веса раствора несмотря на то, что при этом получаются облегченные тампонажные растворы с высокой плотностью.

В.Ф. Горский [12] предложил перед затворением портландцемента диспергировать водную суспензию палыгорскита с целью выравнивания параметров вязкости, и после затворения цемента дополнительно диспергировать смесь под давлением. Данный способ позволяет уменьшить концентрацию добавки до 10 раз. Дополнительно происходит увеличение гидратации, а также увеличение свойств полученного камня, таких как прочность, его плотность и уменьшение усадочных свойств. Метод позволяет получать тампонажный раствор с плотностями 1,3-1,7 г/см<sup>3</sup>. Другие авторы [6] предлагают в качестве добавки, содержащей глину мелкогранулированный материал – МГГМ. Он получается методом высокотемпературной сушки глинистых буровых растворов с соотношением ингредиентов по массовой доле: МГГМ 10-35%, портландцемент 65-90%. Данный метод дает возможность получать растворы плотностью 1,39-1,6 г/см<sup>3</sup>.

Исследования показывают, что при плотности выше 1,55 г/см<sup>3</sup> растворы имеют низкую растекаемость, а при меньшей плотности увеличивается показатель фильтрации. Для уменьшения показателя фильтрации становится невозможно вводить большое количество глины для связывания свободной воды, поскольку это будет приводить к значительному ухудшению физико-механических свойств получаемого тампонажного раствора и камня. При этом при низких температурах сроки схватывания удлиняются, а при снижении плотности прочность гелецементного камня уменьшается [9]. Соответственно, в настоящее время добавки бентонита и палыгорскита являются хоть и дешевыми, но малоэффективными добавками для уменьшения показателя фильтрации тампонажного раствора.



Под воздействием пониженных температур замедляется процесс образования структуры и пакетов тоберморита в растворе. Если при этом в составе используются различные наполнители, которые не обладают вяжущими свойствами, то процесс структурообразования замедляется еще интенсивнее, поскольку содержание зерен цемента уменьшено. Поскольку большинство современных тампонажных растворов в своем составе имеют различного рода добавки, актуальной является проблема уменьшения сроков образования структуры. По этой причине исследователями рекомендованы рецептуры облегченных тампонажных растворов, которые способны изменять свою плотность в широком диапазоне значений с помощью разных методов. Под воздействием низких или отрицательных температур изменяются свойства жидкости затворения. В первую очередь меняется агрегатное состояние, за которым также следует увеличение вязкости и снижение проникающей способности жидкости. В результате изменений происходит замедление гидратации клинкерных минералов, уменьшение прочности и увеличение проницаемости полученного камня. Для борьбы с представленными негативными эффектами воздействия низких температур рекомендованы полифункциональные добавки для ввода в тампонажный раствор, которые одновременно способны понижать температуру замерзания жидкости затворения, ускорять процесс гидратации зерен цемента, разжижать тампонажный раствор, уменьшая тем самым водоцементное отношение и содержание свободной воды в составе благодаря пластифицирующему действию [29].

Исходя из анализа литературных источников можно сделать вывод о том, что гельцементные растворы обладают недостаточно низкой плотностью до  $1,65 \text{ г/см}^3$ , также имеют уменьшенную прочность камня с происшествием времени. Глинопорошок ослабляет структуру цементного камня, для достижения необходимой плотности требуется увеличивать водосодержание, вызывающее увеличение срока структурообразования, а также снижение прочности камня, с

увеличением его проницаемости. В процессе закачки смеси растет величина показателя водоотдачи, что напрямую влияет на коллекторские свойства пласта и параметры тампонажного камня. Данный раствор не позволяет получить необходимого контакта с стенками скважины и обсадными трубами, также не создавая герметичности затрубного пространства, что приводит к низкому качеству крепи и быстрому обводнению продукции скважины.

В работе И.Белей, Н.Щербича, В.Штоля, Н.Долгушиной авторы рассматривают в качестве базового облегченного тампонажного раствора применением раствора портландцемента и облегчающих добавок в форме микросфер. Среди различных вариантов выделяются стеклянные и керамические микросферы, микросферы, полученные при использовании полимерных цепей, алюмосиликатные полые микросферы, а также микросферы, получаемые за счет переработки зол. В качестве их достоинств отмечается высокая степень облегчения раствора с низким водоцементным отношением, и как следствие, получение тампонажного камня с требуемыми прочностными характеристиками. При этом с использованием данных облегчающих добавок в условиях ММП решается проблемы быстрого формирования цементного камня с достаточной прочностью. Недостатками данных микросфер является низкая прочность их оболочек. При действующем в скважине давлении 20-40 МПа наблюдается частичное разрушение микросфер в количестве 30-50% от их первоначальной массовой концентрации. Под разрушением в данном случае понимается не только схлопывание микросфер с уменьшением их объема и разделением на более мелкие частицы, но и нарушение сплошности оболочек за счет развития микротрещин, через которые внутрь может проникать жидкость затворения под действием избыточного давления. Это приводит к увеличению веса облегчающей добавки, в результате чего под действием силы тяжести она осаждается, и наблюдается уменьшение объема тампонажной смеси и последующий рост его плотности [4]. Соответственно, помимо увеличения плотности тампонажного раствора, происходит уменьшение площади свободных

поверхностей микросфер, из-за чего часть жидкости затворения перестает быть связанной и становится подвержена фильтрации в статических и динамических условиях.

По этой причине авторы И.Белей, Н.Щербича, В.Штоля, Н.Долгушиной в своей работе исследуют комплексную облегчающую добавку КОД-1. К ее достоинствам относится меньшая сжимаемость при высоких перепадах давления, снижение показателя водоотделения в 1,5-2 раза по сравнению с растворами с микросферами, повышается качество цементирования скважины. В частности, удалось добиться жесткого контакта в открытом стволе и частичного контакта в межколонном пространстве по сравнению со слабым и отсутствующим контактом для облегченных тампонажных растворов на основе микросфер [3].

Применение стеклянных и алюмосиликатных микросфер также рассматривается в работах Д.Ф.Новохатского [21], Ю.В.Фефелова [38], Д.В.Орешкина [23] с испытаниями в лабораторных условиях и на скважинах. Среди их достоинств авторы отмечают возможность использования рассматриваемых рецептур, облегченных тампонажных растворов в условиях аномально низких пластовых давлений, получая таким образом подъем смеси до устья скважины с приемлемым качеством образующегося тампонажного камня. Отмечается пониженное водоотделение в статичных условиях по сравнению с гельцементными растворами, а также возможность прокачки на значительные глубины за счет длительного срока начала схватывания. Тем не менее, при анализе характеристик рассматриваемых микросфер необходимо отменить низкую прочность микросфер на схлопывание и увеличение плотности частиц под действием давления. Так, при давлении 10 МПа плотность частиц возрастает с 680 до 870 кг/м<sup>3</sup>, а при давлении 20 МПа до 1000 кг/м<sup>3</sup>.

В настоящее время свое применение при приготовлении облегченных тампонажных растворов находят кремнеземсодержащие минералы, в частности породы осадочного (опока, диатомит, трепел), вулканического (пемза, перлит,

туф) и техногенного (силикагель, зола, кремнегель) происхождения. В работе Я.М.Курбанова отмечается высокая прочность на сжатие данных материалов – 10-18 МПа, возможно получения растворов плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup>, а также прочность тампонажного камня 3,2-3,8 МПа. Растворы получаются коррозионностойкими в сульфатных водах и имеют низкое значение показателя водоотделения. Данных по показателю водоотдачи не приводится, что может быть связано с разрушением облегчающей добавки в скважинных условиях и ростом фильтрации. Недостатком является быстрое набухание и значительная усадка [17].

В качестве добавок для получения облегченных тампонажных растворов во многих работах предлагается использовать фильтрованный перлит, который заменяет ранее используемый вспученный перлит. Недостатком вспученного перлита является его шероховатая поверхность и низкая прочность, которая не выдерживает воздействия давлений свыше 5 МПа. В результате этого плотность раствора увеличивается на 150-250 кг/м<sup>3</sup>, растекаемость уменьшается до 50-90 мм, раствор становится непрокачиваемым. К достоинствам фильтрованного перлита относится то, что несмотря на невысокое значение насыпной плотности добавки, она практически не всплывает в жидкости затворения под действием силы Архимеда. Соответственно, при возникновении фильтрации в статических условиях с оседанием твердой фазы вода не будет увлекать за собой данную добавку по развивающимся каналам. Частицы фильтрованного перлита имеют форму зерен с открытой структурой, в результате чего данная добавка легко смачивается и диспергируется в тампонажном растворе [35]. Благодаря тому, что данная добавка обладает низкой плотностью и высокой способностью удерживать воду, появляется возможность получать растворы с низкой плотностью и показателем водоотделения. Однако при использовании фильтрованного перлита сложно получить однородную сухую смесь, а также добавка обладает относительно невысокой прочностью, что при строительстве

глубоких скважин приводит к схлопыванию и расслоению перлита с последующим ростом плотности и показателя водоотделения.

В литературных источниках в качестве добавки для облегченных тампонажных растворов предлагается вермикулит, являющийся результатом вспучивания гидрослюды. Добавка вермикулита используются в растворах для снижения плотности, а также регулирования реологических параметров и водоотделения. В работе [29] отмечается, что из-за минимального расстояния между слоями слюды вермикулит может воспринимать высокие давления без разрушения, поддерживая таким образом необходимые значения плотности и водоотделения, а также благодаря своему строению может обладать закупоривающим эффектом. Большим недостатком данной добавки является то, что при прекращении циркуляции происходит расслоение вермикулита с образованием вермикулитовых пробок, в результате чего невозможно в дальнейшем продолжить продавку тампонажного раствора. В работе А.С.Бубнова, И.А.Бойко, И.Н.Барышева, В.С.Хорева [5] указывается, что концентрация вермикулита в пределах 5-25% не влияет на статическое изменение параметров растекаемости и водоотделения. К еще одному недостатку данной добавки можно отнести то, что добавка не способна связать всю воду, применяемую для затворения. Объясняется это тем, что из-за чешуйчатого строения во время приготовления раствора возникает капиллярный эффект, поэтому между чешуйками вермикулита остается не связанная вода. Соответственно, можно сделать вывод о том, что из-за развития данного эффекта раствор будет иметь повышенный показатель водоотделения, который усилится в скважинных условиях с ростом давления и температуры.

Известны предложения по использованию аэрированных тампонажных растворов в работе В.П.Деткова [13], а также газонаполненных тампонажных систем в работах В.Г.Григулецкого [10]. К их достоинствам относится возможность получать смеси с очень низкой плотностью в пределах 900 – 1300 кг/м<sup>3</sup>, не используя для этого высокое значение водоцементного отношения, что в

конечном итоге позволяет получать низкое значение показателя водоотделения у готовой смеси. При этом данные рецептуры облегченных тампонажных растворов не нашли в настоящее время своего применения, поскольку обладают серьезными недостатками. Из-за невысокого водоцементного отношения растворы имеют небольшую растекаемость растекаемость около 140 мм, а также ограниченность действия эффекта аэрации. Под воздействием давления и температуры газовая фаза удаляется из состава с последующим набором плотности и вязкости. Получаемый впоследствии тампонажный камень имеет малую прочность при изгибе, а прочность на сжатие составляет зачастую не более 1,4 МПа. Соответственно, аэрированные и газонаполненные тампонажные растворы требуют доработки с точки зрения рецептуры для получения параметров, соответствующих современным требованиям.

### **1.3 Современные воздухововлекающие добавки**

В настоящее время неразрешенным вопросом является подбор оптимальной добавки для получения облегченного тампонажного раствора при цементировании скважин в сложных горно-геологических условиях. С одной стороны, такой раствор должен обладать и сохранять в скважинных условиях необходимую плотность, растекаемость и вязкость, чтобы оставаться прокачиваемым при цементировании глубоких скважин с аномально-низкими пластовыми давлениями, с другой стороны, получаемый тампонажный камень должен обладать достаточной прочностью на сжатие и изгиб при эксплуатации скважины. С этой точки зрения можно рассматривать воздухововлекающую облегченную минеральную добавку, которая обладает низкой плотностью и высокой прочностью.

Облегченная минеральная добавка представляет собой микросферы с закрытой системой пор, размер которых составляет от 10 мкм до 350 мкм, при этом средний диаметр частиц 180 мкм. Используется для получения облегченных тампонажных цементов плотностью 1000 - 1700 кг/м<sup>3</sup> в скважинах

с температурами до 75°C и в условиях многолетнемерзлых горных пород. Производителем рекомендуется использовать ОМД вместе с полимерными реагентами для получения требуемых параметров тампонажной смеси. К достоинствам можно отнести низкую насыпную плотность, инертность, высокую механическую прочность, низкую теплопроводность. Это говорит о том, что облегченная минеральная добавка может применяться при цементировании глубоких скважин без риска ее разрушения с последующим ростом плотности раствора. Химический состав добавки в процентах по весу представляет собой: SiO<sub>2</sub>– 76%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–17%, (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) – 6%. Свойства облегченной минеральной добавки представлены ниже:

- Насыпная плотность: 50-80 кг/м<sup>3</sup> (Истинная плотность ~ 150 кг/м<sup>3</sup>);
- Изостатическая прочность в воде при 100°C: 20% разрушения при давлении 40,0 МПа;
- Кислотность водной вытяжки: нейтральная pH 6-7;
- Теплопроводность: 0,04 Вт/(м\*К);
- Водопоглощение, % по объёму: не более 70;
- Водопроницаемость: 25% в течение 200 часов;
- Смешиваемость в тампонажном цементе: хорошая;
- Нетоксичный материал [37].

Изображение ОМД под микроскопом представлено на рисунке 1 [19]:

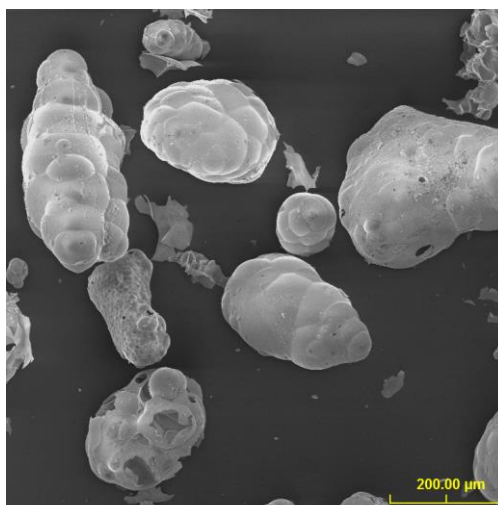


Рисунок 1 – Добавка под микроскопом

Принцип действия воздухововлекающих добавок подробно описан в работе Х.Тейлора [36]. Так, в цементном камне создается большое количество воздушных пузырьков, равномерно распределенных в объеме, которые являются при этом инертными – то есть независимой фазой. Это достигается из-за того, что воздух, равномерно размещаясь в объеме, образует замкнуто-пористую структуру камня в твердеющей системе. В результате этого получается пониженная, в сравнении с обычными тампонажными растворами, плотность. При этом вовлекаемый воздух образует в растворе пену, которая сохраняет свою форму в твердеющем цементе в виде близко расположенных пор сферической формы. Для получения прочного тампонажного камня образующиеся поры должны быть небольшого диаметра. В работе Кригера [43] указывается, что размер образующихся пор составляет 10 – 250 мкм, а фактор порового пространства (среднее расстояние от любой точки раствора до ближайшей поры) – 150 мкм.

Полые пузырьки образуются при вовлечении воздуха, которые без работы воздухововлекающей добавки в своем большинстве разрушаются из-за действия сил поверхностного натяжения жидкости затворения. В свою очередь добавка снижает поверхностное натяжение и стабилизирует пузырьки, при этом внутренняя поверхность возникшей сферы действует как барьер для проникновения жидкости во время приготовления и закачки раствора [36].

#### **1.4 Пониженная водоотдача облегченных тампонажных растворов**

Процесс крепления является одним из наиболее ответственных этапов строительства скважины, поскольку происходит непосредственный контакт тампонажного раствора с горными породами, когда глинистая корка на стенках уже отсутствует после использования скребков и буферной жидкости. В такой ситуации под действием небольшого перепада давления в пласт с проницаемыми горными породами может активно поступать фильтрат тампонажного раствора, который по своему составу и свойствам значительно отличается от пластового



флюида, что может негативно сказываться на коллекторских свойствах. Как результат, ухудшаются эксплуатационные свойства пласта и уменьшается отбор флюида, а также может искажаться геологическая информация при цементировании разведочных скважин.

Кроме того, в трещиноватые и порово-трещиноватые породы помимо жидкой фазы фильтрата могут проникать продукты гидратации цемента и частицы твердой фазы, которые под действие температуры преобразуются в конгломераты и выступают в качестве кольматантов в порах пласта [15]. Установлено, что при высокой проницаемости коллектора в процессе цементирования продуктивность скважины снижается в 2 раза. После проведения ряда исследований установлено, что при воздействии фильтрата тампонажного раствора коэффициент восстановления кернов в реальных условиях не превышает 60% [41].

При этом нужно понимать, что в процессе гидратации цемента происходит упрочнение его структуры, из-за чего появляется дополнительное сопротивление для фильтрации жидкой фазы и этот показатель уменьшается. При перемешивании тампонажного раствора, что характеризует турбулентный режим течения, происходит разрушение структуры, и фильтрация увеличивается таким образом. Данный эффект был отмечен в работе У.Д.Мамаджанова [18], который показал, что динамическая фильтрация дисперсных систем значительно больше статической. Поскольку в разных условиях фильтрация различна, в исследованиях рассматривают отдельно показатели водоотделения и водоотдачи.

Показатель водоотделения характеризует водоудерживающую способность и седиментационную устойчивость тампонажных растворов в статических условиях. Находясь в покое, цементные растворы разделяются на фазы, при этом твердая фаза уплотняется, а жидкая фаза поднимается за счет этого вверх, увлекая за собой облегчающие добавки. В результате таких явлений могут промываться каналы в твердеющем растворе и образовываться

разрывы, которые не будут зарастать в процессе дальнейшего твердения и способны пропускать через цементный камень пластовые флюиды [30].

Показатель водоотдачи характеризует количество жидкости, отделяющееся от тампонажного раствора при перепаде давления, которое развивается в процессе закачки в динамических условиях. Скорость водоотдачи зависит от длительности перемешивания раствора, так как продолжительность и интенсивность перемешивания определяют количество получаемых мелких и мельчайших частиц в цементном растворе, которые выступают в качестве дополнительной поверхности.

Помимо ухудшения коллекторских свойств пласта, следствием фильтрации тампонажных растворов может стать количественное изменение соотношения фаз с изменением водоцементного отношения, что в свою очередь может изменять процесс перехода тампонажного раствора в тампонажный камень, который был рассмотрен ранее. В результате замедляется процесс гидратации зерен цемента в жидкости затворения, растягивается процесс образования структуры, что приводит к увеличению сроков схватывания цемента, а также снижению прочности тампонажного камня. В скважинных условиях за счет большого показателя фильтрации цементный раствор без достаточного количества жидкой фазы начнет схватываться без набора прочности.

Поскольку увеличением водоцементного отношения можно получать облегченные тампонажные растворы, высокая фильтрация приводит к потере жидкости из смеси, что приводит к росту концентрации твердой фазы и увеличению плотности раствора. Это особенно критично при строительстве скважин в слабосвязанных породах с аномально-низким пластовым давлением. Соответственно, фильтрация жидкой фазы может приводить к гидроразрыву пласта в рассматриваемых условиях.

В своей работе А.А.Апаев [1] к положительным явлениям фильтрации относит улучшенное сцепление тампонажного раствора с обсадной колонной и

горными породами, когда тампонажный камень не обладает достаточным коэффициентом расширения, но при этом отмечает, что это не перекрывает всех недостатков.

Решение вышеизложенных проблемы состоит в разработке такого облегченного тампонажного раствора, который при проникновении в призабойную зону пласта оказывал бы минимальное влияние на изменение коллекторских свойств, а также оставался при этом седиментационно устойчивым, подходящим для заканчивания скважин в сложных горно-геологических условиях. При этом получаемые параметры должны быть достаточными для качественного крепления обсадной колонны.

Для снижения водоотдачи цементных растворов можно использовать следующие приемы:

- увеличение удельной поверхности цемента, которое можно обеспечить либо дополнительным помолом цемента, либо добавлением высокодисперсных веществ;
- уменьшение количества свободной воды в растворе, например, путем снижения В/Ц;
- увеличение вязкости жидкой фазы в цементном растворе, за счет добавок высокомолекулярных полимеров;
- ввод специальных добавок, связывающих свободную воду затвердения.

Для уменьшения количества свободной воды в растворе возможно применение высокодисперсных материалов, которые, связывают воду за счет своей развитой поверхности. Необходимо понимать, что такое технологическое решение ведет к дополнительному загущению тампонажного раствора и ухудшению его прокачиваемости. Повышение удельной поверхности тампонажного цемента также снижает водоотдачу раствора по указанному механизму. Если использовать загущение жидкой фазы высокомолекулярными добавками для снижения фильтрации, будет происходить снижение

подвижности тампонажного раствора. Также происходит замедление процесса твердения тампонажного камня и получения им необходимой прочности [34].

Таким образом, оба варианта требуют для сохранения подвижности раствора применения специальных пластификаторов. Повышение водоцементного отношения для сохранения подвижности растворов вновь повысит показатель фильтрации, а также ухудшит конечные свойства получаемого тампонажного камня.

Еще одной мерой для уменьшения количества фильтрата раствора рассматривается уменьшение репрессии. В первую очередь, низкой репрессией обладают облегченные тампонажные растворы, которые в настоящее время получают в основном за счет использования большого количества жидкости затворения. Возможен вариант использования перспективных облегчающих добавок в совокупности с невысоким водоцементным отношением за счет их развитой поверхности и низкой насыпной плотности, как это характерно для облегченной минеральной добавки.

Использование высокомолекулярных полимеров в качестве понизителей фильтрации только начинает исследоваться. По воздействию они характеризуются как закупоривающие материалы, создающие прочные связи между частицами цемента и упрочняющие коллоидную структуру цемента. Использование полимеров также увеличивает сопротивление фильтрационной корки на стенке скважину из-за адсорбции, в результате чего снижается поступление фильтрата в пласта. Кроме того, при использовании высокомолекулярных полимеров снижается начальная скорость фильтрации, но слабо закупоривается фильтрационная корка.

### **1.5 Выводы по аналитическому обзору**

Цементирование скважины является одним из завершающих этапов строительства, качество которого определяет эффективность дальнейшей эксплуатации скважины и коэффициент извлечения нефти, а также её

надежность и долговечность. Основными компонентами облегченных тампонажных растворов являются: портландцемент тампонажный (ПЦТ), облегчающие добавки, вода. Таким образом, результат цементирования напрямую зависит от качества тампонажных растворов и применяемых компонентов, основными из которых являются портландцемент, жидкость затворения, облегчающие добавки и полимерные реагенты в некоторых вариантах рецептур. Получаемые основные параметры раствора и цементного камня должны соответствовать проектным.

В настоящее время строительство скважин ведется в сложных горно-геологических условиях. К таким условиям можно отнести слабосвязанные горные породы, которые имеют аномально низкие пластовые давления и склонны к поглощению тампонажного раствора. При таких условиях возникает необходимость в получении облегченных тампонажных растворов, которые с одной стороны будут обладать низкой плотностью и показателем фильтрации, но при этом образующийся тампонажный камень будет иметь высокую прочность на сжатие и изгиб. При этом для регулирования свойств раствора необходимо понимать процесс структурообразования и перехода смеси из жидкого состояния в твердообразное.

В настоящее время разработаны и исследованы различные рецептуры облегченных тампонажных растворов с применением облегчающих добавок, но все из них имеют существенные достоинства и недостатки. В целом облегчение тампонажных растворов происходит за счет использования двух факторов: ввод облегчающих добавок в качестве твердой фазы с низкой насыпной плотностью и увеличение водоцементного отношения за счет связывания свободной воды использованием большой площади поверхности этих добавок.

При этом разрабатываемые добавки в своем большинстве имеют низкую прочности на сжатие под действием скважинного давления, в результате чего происходит их схлопывание, расслоение или разрушение со значительным ростом плотности раствора. Данные факторы приводят к тому, что такие

облегчающие добавки могут образовывать новые активные поверхности в результате расслоения, которые дополнительно будут связывать свободную воду, что будет приводить к уменьшению растекаемости и повышению вязкости раствора. При схлопывании и разрушении будет происходить уменьшение активных поверхностей добавок, в результате чего часть жидкости затворения перестанет быть связанной и сможет легко фильтроваться. Это будет приводить к росту плотности тампонажного раствора и повышению вероятности развития гидроразрыва пласта. В любом случае, при возникновении любого из данных факторов тампонажный раствор становится непрокачиваемым и появляется вероятность недоподъема раствора до устья скважины. Возникновение несвязанной воды также негативно влияет на однородность тампонажного раствора и получаемого тампонажного камня.

С точки зрения используемых в настоящее время облегчающих добавок наиболее перспективной является воздухововлекающая облегченная минеральная добавка, которая позволяет добиться низкой плотности для облегченных тампонажных растворов, способна выдерживать большие перепады давления практически без разрушения своей структуры, а также получать необходимые показатели фильтрации исследуемых растворов при использовании вместе с ней полимерных реагентов.

Особое внимание уделяется показателю фильтрации тампонажных растворов, поскольку в настоящее время заказчиками предъявляются повышенные требования к сохранению коллекторских свойств продуктивного пласта для максимизации коэффициента извлечения нефти и постоянному отбору флюида в процессе эксплуатации скважин. Соблюдение данного показателя также позволяет получать качественный тампонажный камень, который обеспечивает надежность крепления и дальнейшую эксплуатацию скважин, а также снижает риск возникновения осложнений и аварий в процессе продавки тампонажной смеси.

Таким образом, целью настоящей магистерской диссертации является разработка состава облегченного тампонажного раствора, обладающего пониженной водоотдачей.

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработать методику проведения исследований.
2. Разработать рецептуры облегченных тампонажных растворов с различными облегчающими добавками, который соответствует стандарту ГОСТ 1581-96 «Портландцемент тампонажный. Технические условия».
3. Провести сравнение свойств облегченных тампонажных растворов с использованием различных облегчающих добавок.
4. Выбрать облегчающую добавку и разработать с ее применением рецептуру тампонажного раствора с пониженной водоотдачей.

## 2 Методика проведения исследований

### 2.1 Методика определения плотности тампонажного раствора

Для измерения плотности облегченного тампонажного раствора в лабораторных условиях используются рычажные весы-плотномеры фирмы OFITE, схематичное изображение которых представлено на рисунке 2.

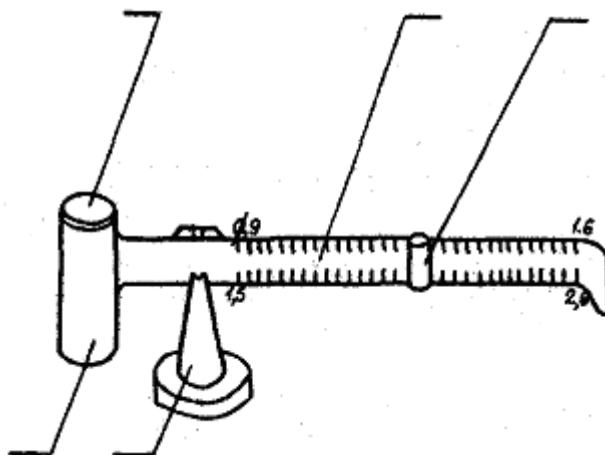


Рисунок 2 – Рычажные весы-плотномеры

Рычажные весы-плотномеры OFITE в сущности состоят из неподвижной и подвижной частей. К неподвижной части относится опорная стойка 1, а подвижная часть включает в себя рычаг 2, к которому закреплен измерительный стакан 3 с крышкой с отверстием 4 для удаления избытка тампонажного раствора. Измерение проводится при установке подвижного рычага весов на опорную стойку с последующим перемещением подвижного груза 5 вдоль размеченной шкалы, по показаниям которой устанавливается плотность.

Принцип измерений основан на создании различных моментов вращения рычага относительно опорной стойки под действием силы тяжести. При перемещении груза происходит изменение момента с правой части весов и достигается в результате достигается уравнивание левой и правой сторон рычага относительно неподвижной опоры.

Для проведения испытания мерный стакан заполняют тампонажным раствором до краев и закрывается крышкой. Из размещенного на крышке отверстия вытекает избыточное количество тампонажного раствора, которое



затем смывается водой для предотвращения искажения показаний. Рычаг весов-плотномеров устанавливают специальными опорами на неподвижную стойку. При перемещении подвижного груза подбирают положение рычага в равновесии визуально и с использованием уровня, после чего по шкале определяют плотность тампонажного раствора, который в данном случае имеет размерность  $\text{г/см}^3$ . После окончания измерения раствор выливают из мерного стакана и производят промывку оборудования водой от остатков раствора с последующей протиркой насухо.

Источником ошибок при определении плотности тампонажного раствора может стать проникновение воздуха в цементный раствор при его приготовлении во время перемешивания за счет использования различных добавок, неисправность прибора подвижного рычага или опоры, нарушение целостности деталей оборудования или налипание затвердевшего цемента при некачественном промывании, засорение отверстия на крышке весов, в результате чего излишки раствора могут не удаляться из мерного стакана [20].

## **2.2 Методика определения растекаемости тампонажного раствора**

Показатель растекаемости тампонажного раствора отражает его подвижность и способность прокачиваться в скважинных условиях. Измерения проводят с целью определения того, на сколько легкоподвижным остается раствор в процессе его закачки в скважину.

Для определения растекаемости тампонажного раствора используют конус АзНИИ в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 26798.1-96 [48]. Схема применяемого оборудования представлена на рисунке 3.

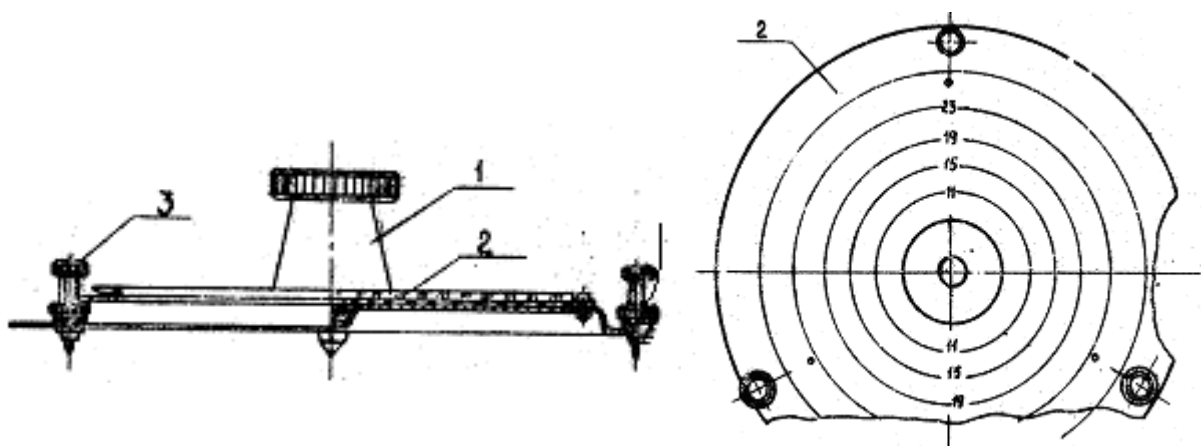


Рисунок 3 – Конус АзНИИ

В состав оборудования входит усеченный конус 1 с внутренним диаметром верхнего отверстия для заливки раствора  $37\pm 0,5$  мм, нижним отверстием основания  $70\pm 0,5$  мм. Высоту данного конуса составляем  $60\pm 0,5$  мм, а объем входящего в него тампонажного раствора –  $120\text{ см}^3$ . Также используется круглый стол 2, на основание которого нанесена шкала с концентрическими окружностями, минимальный диаметр которых составляет 70 мм, а максимальный диаметр 250 мм. Размеченные окружности имеют цену деления шкалы 5 мм. Сам стол со шкалой сверху накрываются стеклом, на которое устанавливается усеченный конус.

Перед началом испытаний усеченный конус располагают в центре измерительного стола поверх стекла таким образом, что нижняя окружность конуса совпадает с минимальной концентрической окружностью измерительной шкалы. Для получения достоверных результатов необходимо смочить стекло и внутреннюю поверхность усеченного конуса.

После приготовления образца тампонажного раствора его необходимо налить в усеченный конус до верхнего края не позднее 5 секунд с момента приготовления. В случае необходимости конус придерживается для предотвращения утечек через нижний торец. Избыточное количество раствора необходимо удалить с верхнего торца. После окончания подготовительного этапа усеченный конус поднимают вертикально вверх для равномерного всестороннего растекания.

Диаметр растекшегося круга тампонажного раствора измеряется линейкой либо с помощью размеченных концентрических окружностей, при этом измерения в двух перпендикулярных направлениях, а полученный результат округляется до 5 мм. Для получения достоверного показателя растекаемости необходимо провести два измерения и найти их среднеарифметическое значение. Не требуется проводить повторные исследования, если разница между результатами составляет менее 10 мм.

### **2.3 Методика определения водоотделения тампонажного раствора**

После остановки циркуляции и начала процесса структурообразования из-за высокого водоцементного отношения в облегченном тампонажном растворе часть жидкости затворения находится в несвязанном состоянии, поскольку между зернами цемента силы взаимодействия достаточно слабы, а процесс образования элементарных пакетов тоберморита только начинается. При этом часть добавок с развитой поверхностью может быть разрушена под действием скважинного давления, а понизители фильтрации могут отсутствовать в рецептуре тампонажного раствора. Это может служить причиной седиментации твердой фазы тампонажного раствора с развитием неоднородности столба раствора по высоте. В конечном итоге нарушается сплошность столба тампонажного раствора в затрубном пространстве, могут образовываться водные пояса, трещины и каналы различных размеров. Это приводит к некачественному креплению скважины, увеличивает проницаемость тампонажного камня.

В качестве средств измерения для данного показателя применяются мерные цилиндры, соответствующие ГОСТ 1770 [50]. Применяется мерный цилиндр с объемом 20 см<sup>3</sup> с ценой деления 0,2 см<sup>3</sup>, а также два больших цилиндра с вместимостью 250 см<sup>3</sup>, требования к цене деления их шкал не предъявляются. Изображением используемых мерных цилиндров представлено на рисунке 4.

Для отбора фильтрата тампонажного раствора из больших цилиндров используются пипетки, соответствующие ГОСТ 29227 [50].

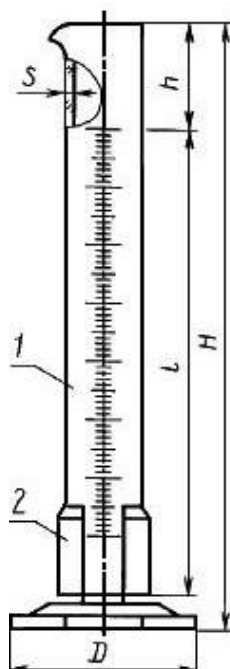


Рисунок 4 – Мерный цилиндр по ГОСТ 1770

Подготовленный образец тампонажного раствора заливается в большие мерные цилиндры в объеме  $250 \text{ см}^3$  и при неподвижном вертикальном положении остается отстаиваться. Исследование проводится в течение 2 часов, после чего отделившийся фильтрат собирают с поверхности пипеткой и переливают в малый цилиндр с объемом  $20 \text{ см}^3$ . С помощью данного цилиндра определяется объем фильтрата, выделившегося из тампонажного раствора. В качестве показателя водоотделения считается среднеарифметическое значение объемов жидкости из двух больших мерных цилиндров. Результат исследования считается достоверным, если разница между измеренными объемами составляет не более  $0,2 \text{ мл}$  [48].

#### **2.4 Методика определения времени загустевания тампонажного раствора**

Время загустевания тампонажного раствора является величиной, которая показывает сроки образования структуры, а также определяет время, в течении которого цементный раствор остается подвижным и может закачиваться в

скважину. Зная предполагаемое время продавки тампонажного раствора и его сроки загустевания, можно подбирать способ цементирования и оценивать возможность безаварийного процесса заканчивания скважины. К моменту истечения полученного времени в растворе начинает проходить процесс схватывания, во время которого образующийся тампонажный камень начинает набирать прочность. По этой причине все работы по продавке должны быть остановлены к концу процесса загустевания и началу схватывания, чтобы столб раствора находился в неподвижном состоянии к этому моменту.

Подготовка к работе и измерения проводятся согласно требований ГОСТ 26798.1-96 [48] и 26798.2-96 [49]. Для этого используется атмосферный консисометр с возможностью исследования цементов при различных температурных режимах. Консисометр представляет собой герметичный контейнер, в который погружается цилиндрическая испытательная ячейка. Ячейка используется для удержания образца тампонажного раствора и размещения лопастных перемешивателей. При этом весь объем герметичного контейнера, в котором также располагаются испытательные ячейки, заполняется маслом с вязкостью в пределах 5-100 Вс. Испытательная ячейка с тампонажным раствором вращается в контейнере с частотой  $150 \pm 15$  об/мин, при этом происходит непрерывное перемешивание раствора. Для создания скважинных условий вязкое масло вместе с испытательной ячейкой и образцом тампонажного раствора нагревается до заданной температуры. Нагреватель, входящий в состав исследовательского оборудования, должен повышать температуру масла со скоростью в пределах  $2,8$  °С/мин. Для определения параметра консистенции, по которому можно судить об окончании процесса загустевания, используется встроенное потенциометрическое устройство.

Порядок подготовки и проведения испытаний согласно методики ГОСТ 26798.2-96 представлен ниже.

1. Перед началом проведения исследования необходимо провести проверку оборудования и совершить тестовый запуск консисометра. Проверяется,

чтобы лопасти перемешивателей во время вращения не касались внутренней поверхности испытательной ячейки. Отсутствие соприкосновения подтверждается нулевым показанием на шкале во время работы электродвигателя.

2. Испытательная ячейка заполняется образцом тампонажного раствора до заданного уровня, который отмечен риской на внутренней поверхности.
3. Осуществляется погружение ячейки в герметичный контейнер с фиксацией с помощью байонетного замка.
4. Нагревательное устройство заполняется необходимым количеством воды и устанавливается снаружи консистометра.
5. На приготовление и запуск консистометра с испытательной ячейкой отводится 10 минут с момента приготовления образца тампонажного раствора.
6. Нагревание масла контролируется с помощью термометра и поддерживается на заданном уровне за счет изменения напряжения питания нагревательного элемента. Скорость нагревания должна соответствовать градиенту температур в скважине, на практике это значение принимается в пределах  $0,6 - 2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .
7. После начала исследования осуществляется непрерывный контроль, при этом значения температуры и показания потенциометрического датчика фиксируются с интервалом 5 минут.
8. Временем загустевания тампонажного раствора считается время, прошедшее от момента приготовления раствора до достижения им консистенции 30 Вс.

В лабораторных условиях для проведения испытаний используется консистометр OFITE модель 80, который представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Консистометр OFITE модель 80

Консистенция измеряется в единицах Бердона (Bc), определяемых по сжатию калибровочной пружины. Это сжатие определяет крутящий момент, создаваемый цементом при воздействии его на лопасть. Потенциометр генерирует сигнал на выходе, выраженный в Вольтах, который является прямо пропорциональным консистенции цемента.

## **2.5 Методика определения прочности на изгиб образцов тампонажного камня**

На тампонажный камень в процессе эксплуатации воздействуют различные нагрузки, которые также оказывают влияние на обсадную колонну. Кроме того, на него осуществляется разгрузка веса обсадных труб за счет развития прочного контакта, поэтому для повышения несущей способности труб необходимо добиваться максимальной прочности тампонажного камня. Соответственно, к разрабатываемым рецептурам тампонажных растворов предъявляются такие требования, чтобы после начала процесса схватывания тампонажный камень набирал достаточную прочность для защиты обсадных труб от деформации под действием больших перепадов давлений и различных нагрузок. В качестве нагрузок на тампонажный камень в настоящее время

рассматривается действующее горное давление и гидростатическое давление столба жидкости, внутреннее и наружное избыточные давления в обсадной колонне, ударные нагрузки, развивающиеся во время спускоподъемных операций, а также проведение мероприятий по гидроразрыву пластов, испытание и освоение скважины.

Методика определения прочности тампонажного камня описана в ГОСТ 310.4-81 [51]. В качестве образцов для исследований используются балочки, которые получают путем заливки и твердения тампонажного раствора в специальных металлических формах, размер которых составляет 40x40x160 мм. Изображение данных форм представлено на рисунке 6.

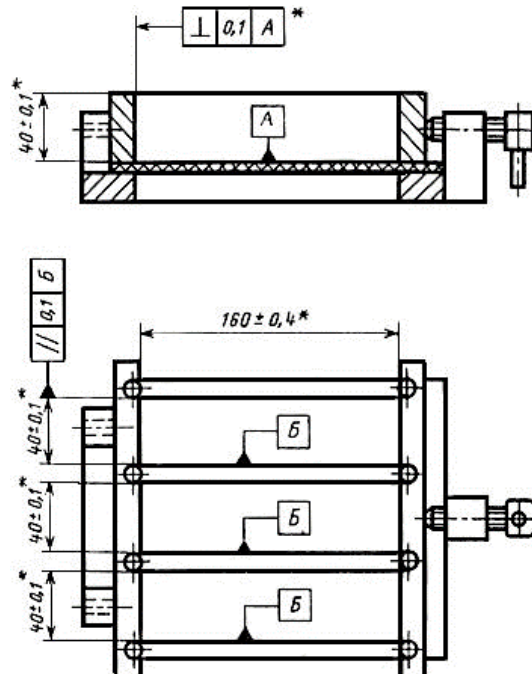


Рисунок 6 – Форма для изготовления балочек

При изготовлении допускается отклонение размеров получаемых балочек тампонажного камня от указанных значений на величину не более 0,2 мм. Для облегчения сборки форм детали нумеруются, а для обеспечения герметичности и более плотного прилегания частей к поверхности поддона проводят шлифовку продольных и поперечных стенок формы.

В процессе схватывания тампонажного раствора в лабораторных условиях используют водяную баню для водного хранения. Для определения



прочности на сжатие и изгиб применяется испытательная машина MATEST модель E160, изображенная на рисунке 7.



Рисунок 7 – Машина для испытания MATEST E160

Поэтапный порядок проведения испытаний представлен ниже.

1. На подготовительном этапе необходимо произвести сборку формы, очистить ее от частиц застывшего цемента и смазать маслом для предотвращения прилипания тампонажного камня к металлу. В местах соединения деталей необходимо использовать пластилин для герметизации и предотвращения утечек раствора.

2. Заполнение собранной формы осуществляется двумя порциями тампонажного раствора. Сначала заполняют ячейки до половины, проводя при этом уплотнение раствора и удаление вовлеченного воздуха. Далее раствор заливают до верхних краев и оставляют его загустевать при нормальных условиях. Спустя некоторое время излишки раствора срезают вровень с верхней кромкой формы для изготовления.

3. Заполненную форму накрывают стеклом для предотвращения проникновения воды внутрь и размещают в водяной бане с температурой жидкой среды  $75^{\circ}\text{C}$ . Указанная температур должна поддерживаться в течение всего времени хранения с отклонениями в пределах  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

4. Тампонажный раствор твердеет в течении двух суток, после чего образцы вынимаются из водяной бани и форма для приготовления разбирается. Полученные балочки пронумеровывают и производят их охлаждение в воде при температуре 20 °С. Время охлаждения составляет 2 часа.

5. Охлаждение полученных образцов проводится в любом подходящем контейнере таким образом, чтобы они находились на расстоянии не менее 1 см друг от друга. При этом вода должна покрывать верхнюю точку балочек минимально на 2 см.

6. Перед размещением образцов в испытательной машине они протираются насухо и удаляется вся оставшаяся вода на поверхности.

7. Для проведения одного испытания необходимо три одинаковых образца тампонажного камня как по рецептуре, так и по размерам. Основное требование – установить балочку на опоры испытательной машины таким образом, чтобы на них находилась грань образца, которая контактировала с перегородкой в форме во время твердения.

8. Для получения значения прочности тампонажного камня необходимо найти среднееарифметическое значение результатов трех испытаний.

## **2.6 Методика определения водоотдачи тампонажного раствора**

Требования к определению показателя водоотдачи не регламентируются ГОСТ 1581-96. Тем не менее, в лабораторных условиях производятся измерения водоотдачи, поскольку данный параметр наиболее точно показывает фильтрацию тампонажного раствора в динамических скважинных условиях под действием давления и температуры. Перемешивание раствора является имитацией турбулентного режима течения, что препятствует началу процесса структурообразования в смеси, в результате чего часть жидкости затвердения остается в несвязанном виде. Кроме того, под действием давления происходит уплотнение облегчающих добавок и снижение эффективности их работы.

Требования к проведению испытаний тампонажных растворов не регламентируются ГОСТ и изложены в спецификации 10 стандарта API [60]. Используется анализатор водоотдачи цемента в динамических условия OFITE модель 40, изображение которого представлено на рисунке 8.



Рисунок 8 – Анализатор водоотдачи OFITE модель 40

Анализатор водоотдачи представляет собой устройство, в состав которого входит нагревательная рубашка, электродвигатель для создания вращения и панель управления устройством. В нагревательную рубашку помещается цилиндрический стальной контейнер с тампонажным раствором и лопастным перемешивающим устройством внутри. Контейнер соединяется с электродвигателем с помощью зубчатой передачи. Скорость вращения лопастного перемешивателя внутри контейнера с раствором составляет 150 об/мин. Прибор имеет нагреватель, обеспечивающий повышение и поддержку температуры в испытательной ячейке. К анализатору водоотдачи подключен баллон с азотом, с помощью которого в испытательной ячейке создается необходимое давление.

Порядок подготовки и проведения испытаний прописан в руководстве по эксплуатации анализатора водоотдачи OFITE и представлен ниже.

1. Осуществляется частичная сборка испытательной ячейке, которая включает в себя смазку внутренней поверхности цилиндрического контейнера, смазку уплотнительных колец силиконовой смазкой и резьб контейнера специальным составом для предотвращения прикипания, укладки уплотнительных колец, фильтра и верхней крышки контейнера.
2. По заданной рецептуре осуществляется приготовление требуемого тампонажного раствора.
3. В испытательную ячейку заливается только что приготовленный тампонажный раствор в объеме 425 мл.
4. Осуществляется установка перемешивающий лопатки в контейнер и завершается его сборка.
5. Испытательная ячейка вводится в нагревательную рубашку прибора стороной с лопаткой вперед.
6. Осуществляется фиксации нагревательной рубашки и ячейки в ней, соединяется лопатка с двигателем, устанавливается воздухоотвод.
7. Включается прибор, устанавливается необходимая для испытания температура, редуктором высокого давления в ячейке создается давление 500 PSI (3,45 МПа) и начинается перемешивание с частотой 150 об/мин.
8. При достижении заданной температуры начинается отсчет времени для перемешивания, которое согласно стандарта занимает 20 минут.
9. После окончания перемешивания осуществляет переворот ячейки на 180 градусов. Производится повторное соединение блока манифольда, с нижним штоком клапана соединяется приемник обратного давления. В испытательной ячейке создается давление 1000 PSI (6,9 МПа).
10. Ослабляется верхний шток верхнего клапана. После этого ослабляется шток нижнего клапана, незамедлительно начинается отсчет 30 минут на проведение испытания. Результатом испытания является объем фильтрата тампонажного раствора, собранный в приемники обратного давления за 30 минут.

## **2.7 Методика приготовления облегченного тампонажного раствора для испытаний**

В лабораторных условиях пробы тампонажного раствора подготавливаются согласно требований ГОСТ 26798.1-96 [48]. В первую очередь сухой цемент просеивается через сито с сеткой №09 по ГОСТ 6613 для предотвращения попадания комков и других примесей. Для затворения сухого цемента применяют питьевую воду, соответствующую требованиям ГОСТ 2874. Просеянный цемент взвешивается с погрешностью  $\pm 1$  г, вода взвешивается или отмеряется с погрешностью  $\pm 1$  г или  $\pm 1$  мл соответственно. Для замера массы сухого цемента и воды затворения используются лабораторные весы ВК-3000.1 с дискретностью измерений 0,1 г. Для измерения массы различных добавок с высокой точностью используются лабораторные весы ВК-600 с дискретностью измерений 0,01 г.

Сухие реагенты перемешиваются до получения однородного состава сухой смеси, а вода затворения переливается в специальный цилиндрический стакан, после чего осуществляется подготовка перемешивателя. Стакан для затворения и лопатка для перемешивания соответствуют ГОСТ 310.3-76, в качестве перемешивателя используется верхнеприводная мешалка.

Для получения тампонажного раствора в перемешиваемую воду затворения осуществляется ввод сухой смеси цемента и прочих реагентов. Лопастной смеситель при перемешивании имеет частоту вращения  $1500 \pm 100$  об/мин, время перемешивания после ввода реагентов в цилиндрический стакан составляет  $180 \pm 5$  с, объем получаемого раствора – от 500 до 900 см<sup>3</sup>. Схема смесителя представлена на рисунке 9.

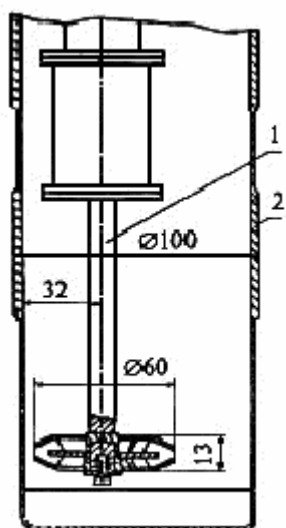


Рисунок 9 – Лопастной смеситель

### **3 Результаты экспериментальных исследований**

Раздел не подлежит публикации в связи с научной новизной.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждого этапа проекта;
- определение продолжительности каждого этапа работ;
- построение графика проведения научных исследований;
- формирование бюджета проекта.

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	работа	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Определение направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Руководитель, магистрант
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Составление литературного обзора по исследуемой проблеме	Магистрант
	6	Подбор рецептур облегченных тампонажных растворов	Руководитель, магистрант
	7	Проведение исследований плотностей	Магистрант
	8	Проведение исследований выбранных рецептур	Магистрант
	9	Подбор понизителей фильтрации	Руководитель, магистрант



Окончание таблицы 1

	10	Оптимизация и исследование рецептур	Магистрант
Обобщение и оценка результатов	11	Обработка результатов исследования	Магистрант
	12	Анализ результатов исследования	Руководитель, магистрант
Оформления отчета по исследовательской работе	13	Составление пояснительной записки	Магистрант

Трудовые затраты зачастую образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

где  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел.-дни;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел.-дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дней;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi}k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности, определяемый по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = \frac{365}{247} = 1,48,$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Временные показатели проведения научного исследования

Виды работ	Исполнители	Трудоемкость работ			Продолжительность в рабочих днях, $T_p^i$		Продолжительность в рабочих днях, $T_k^i$	
		$t_{\text{мин}}^i$	$t_{\text{макс}}^i$	$t_{\text{ож}}^i$	Р	А	Р	А
Составление и утверждение технического задания	Р	1	3	2	2	-	3	-
Определение направления исследований	Р	3	4	4	4	-	6	-
Подбор и изучение литературы по теме	Р/М	8	12	10	5	5	8	8
Календарное планирование работ по теме	Р/М	1	2	2	1	1	2	2
Составление литературного обзора по теме проблемы	М	10	14	12	-	12	-	18

Окончание таблицы 2

Подбор рецептур облегченных тампонажных растворов	Р/М	3	6	5	3	3	5	5
Проведение исследований плотностей	М	28	33	30	-	30	-	45
Проведение исследований выбранных рецептур	М	40	52	45	-	45		67
Подбор понизителей фильтрации	Р/М	4	7	6	3	3	5	5
Оптимизация и исследование рецептур	М	35	47	40	-	40	-	60
Обработка результатов исследования	М	3	5	4	-	4	-	6
Анализ результатов исследования	Р/М	7	9	8	4	4	6	6
Составление пояснительной записки	М	14	19	16	-	16	-	24
<b>ИТОГО:</b>					22	167	35	246

На основании представленного расчета трудоемкости работ строится диаграмма Ганта. Календарный график–план выполняется с разбивкой по месяцам. Результаты построения диаграммы представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Календарный план-график проведения научного исследования

Виды работ	Тк, дней	Нояб. 2018	Дек. 2018	Янв. 2019	Фев. 2019	Мар. 2019	Апр. 2019	Май 2019	
1. Составление и утверждение задания	<b>3</b>								
2. Определение направления исследований	<b>6</b>								
3. Подбор и изучение литературы по теме	<b>16</b>								
4. Календарное планирование работ по теме	<b>4</b>								
5. Составление литературного обзора по исследуемой проблеме	<b>18</b>								
6. Подбор рецептур тампонажных растворов	<b>10</b>								
7. Проведение исследований плотностей	<b>45</b>								
8. Проведение исследований принятых рецептур	<b>67</b>								
9. Подбор понизителей фильтрации	<b>10</b>								
10. Оптимизация и исследование рецептур	<b>60</b>								
11. Обработка результатов исследования	<b>6</b>								
12. Анализ результатов исследования	<b>12</b>								
13. Составление пояснительной записки	<b>24</b>								

## 4.2 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты на исследование;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Затраты на научные и производственные командировки, а также контрагентные расходы не учитываются, поскольку исследования выполняется в условиях лаборатории с использованием собственных ресурсов и возможностей.

В материальных затрат на научно-техническое исследование учитывается стоимость всех тех материалов, которые используются при разработке и выполнении проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх}^i,$$

где  $N_{расх}^i$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, потребляемых при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принимается равным 0,15 для отечественных продуктов и 0,25 – для импортируемых).

Значения цен на материальные ресурсы были установлены по данным, размещенным на сайте предприятий-изготовителей либо поставщика. Источник

финансирования исследовательской работы – бюджетные средства, выделяемые ТПУ.

Необходимые материалы для проведения серии экспериментов, а также затраты на их приобретение представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Кол–во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
ПЦТ-I-100	кг	108,70	16,80	1826,16
Вода дистиллированная	л	112,40	7,00	786,8
Бентонит ПБМБ	кг	1,45	30,00	43,50
АСПМ	кг	1,26	70,00	88,20
Вермикулит	кг	0,39	200,73	78,28
Микрокремнезем	кг	0,79	23,50	18,57
Биокремнезем	кг	0,88	11,00	9,68
ОМД	кг	0,81	90,00	72,90
Понизители фильтрации	кг	0,30	280,00	84,00
Пластификатор	кг	0,07	93,00	6,51
Пеногаситель	кг	0,05	603,93	30,20
Газ N <sub>2</sub>	л	24,00	11,75	282,00
Солидол	кг	0,20	233,75	46,75
Смазка силиконовая	уп	1	90,00	90,00
Смазка графитовая	уп	2	62,00	124,00
<b>ИТОГО</b>				<b>3587,55</b>
<b>С учетом транспортных расходов</b>				<b>4305,06</b>

Исследование облегченных тампонажных растворов проводится в испытательной научно-инновационной лаборатории «Буровые промывочные и тампонажные растворы» Томского политехнического университета с применением оборудования, которым изначально была укомплектована данная лаборатория, поэтому дополнительные затраты на покупку не требуются. Для используемых приборов рассчитывается только доля амортизации. Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости

основных средств (лабораторное оборудование) и установленной нормы амортизации, учитывая долю использования оборудования в работе. Предполагаемый срок эксплуатации оборудования составляет 10 лет, поэтому норма амортизации рассчитывается линейным способом и составляет 10%. Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Амортизация основных средств

Наименование оборудования	Балансовая стоимость, руб	Норма амортизации, %	Доля использования, %	Амортизация $A_{oc}$ , руб.
Лабораторное оборудование	340000	10	30	10200
Лабораторное оборудование МАТЕСТ	550000	10	5	2750
Лабораторное оборудование OFITE	1180000	10	10	11800
<b>ИТОГО</b>				<b>24750</b>

В статью заработной платы включается основная заработная плата сотрудников, участвующих в проведении исследования, а также обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина заработной платы определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Расчет основной заработной платы производится по формуле:

$$Z_{oc} = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} \cdot \frac{M}{F_{д}} \cdot T_{р},$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;  $k_{д}$  – коэффициент доплат и надбавок, в условиях лаборатории составляет 0,15;  $k_{р}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска);  $M$  – количество рабочих месяцев без отпуска (11,2 для 5-дневной рабочей недели и отпуска 24 дня);  $F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени (247 раб. дней);  $T_{р}$  – продолжительность работ, выполняемых сотрудником.

Дополнительная заработная плата включает доплаты за отклонения от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Для условий работа в лаборатории определяется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot Z_{\text{осн}}$$

На 2019 г. размер страховых взносов по общей тарифной ставке равен 30%. Результаты расчета заработной платы исполнителей, а также отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет заработной платы и страховых отчислений

Исполнители	Оклад по тарифной ставке, $Z_{\text{тс}}$ , руб.	Число рабочих дней, $T_{\text{р}}$	Основная заработная плата, $Z_{\text{осн}}$ , руб.	Дополнительная заработная плата, $Z_{\text{доп}}$ , руб.	Суммарная заработная плата, $Z_{\text{зп}}$	Страховые взносы, $Z_{\text{со}}$ , руб.
Руководитель	23264,86	22	43747,73	5249,73	48997,46	14699,24
Лаборант	14874,45	167	212319,47	25478,34	237797,81	71339,34
<b>ИТОГО:</b>			256067,20	30728,07	286795,27	86038,58

Статья расходов включает в себя стоимость электроэнергии для эксплуатации лабораторного оборудования, а также затраты на освещение, водоснабжение, канализацию и теплоснабжение лаборатории. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологического целей рассчитываются по формуле:

$$Э_{\text{об}} = P_{\text{об}} \cdot Ц \cdot t_{\text{об}}$$

где  $Э_{\text{об}}$  – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;  $P_{\text{об}}$  – мощность, которая потребляется оборудованием, кВт;  $Ц$  – тарифная цена за 1 кВт·час (стоимость составляет 5,8 руб.);  $t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования приведены в таблице 7. Затраты на коммунальные услуги приведены в таблице 8.



Таблица 7 – Затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт·ч	Затраты $\mathcal{E}_{об}$ , руб.
Верхнеприводная мешалка	30	0,05	8,7
Консистометр OFITE модель 80	40	2,20	510,4
Нагревательная ванна	432	1,00	2505,6
Машина MATEST E160	2	0,75	8,7
Анализатор водоотдачи OFITE модель 40	120	0,80	556,8
Лабораторное оборудование низкого потребления	516	0,01	29,9
<b>ИТОГО</b>			3620,1

Таблица 8 – Затраты на коммунальные услуги

Наименование услуги	Ед. изм услуги	Тариф, руб/ед.изм.	Требуемый объем, ед. изм.	Затраты $\mathcal{Z}_{ком}$ , руб.
Теплоснабжение	Гкал	2506,6	9,6	24063,36
Водоснабжение	м <sup>3</sup>	40,4	4,2	169,68
Водоотведение	м <sup>3</sup>	28,4	4,4	124,96
Освещение	кВт·ч	5,8	362,9	2104,82
<b>ИТОГО</b>				26462,82

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта. В процессе формирования бюджета рассмотренные выше затраты были сгруппированы по статьям расходов. Дополнительно учитывается статья накладных расходов, в которые входят прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов. Сумма накладных расходов берется как 10% от общих затрат проекта. Сформированный бюджет представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат на проведение исследования

Наименование статьи расходов	Сумма, руб.
1. Затраты на материалы и комплектующие	4305,06
2. Затраты на амортизация оборудования	24750,00
3. Затраты по основной заработной плате	256067,20
4. Затраты по дополнительной заработной плате	30728,07
5. Отчисления во внебюджетные фонды	86038,58
6. Затраты на электроэнергия для оборудования	3620,10
7. Затраты на коммунальные услуги	26462,82
8. Накладные расходы	43197,18
<b>Итого собственных затрат:</b>	<b>475169,01</b>

Итого бюджетный фонд, сформированный для реализации научно-исследовательского проекта по разработке рецептур облегченных тампонажных растворов с пониженной водоотдачей составил 475169,01 руб. Основная часть затрат приходится на заработную плату вовлеченных в проект сотрудников и отчисления во внебюджетные фонды.

#### **4.3 Определение эффективности исследовательского проекта**

Результатом данного научно-исследовательского проекта будет являться разработка рецептуры облегченного тампонажного раствора с пониженной водоотдачей, что в дальнейшем предполагает патентование данной рецептуры. Поскольку основное назначение данной разработки – применение в практических условиях в промышленных масштабах, рассматривать рентабельность проекта становится нецелесообразным, поскольку срок его окупаемости реализуется на этапе опытно-промышленных исследований. Поэтому эффективность разработки необходимо рассматривать с помощью сравнительной оценки конкурентных промышленных разработок и с расчетом интегрального показателя эффективности.

В качестве объектов для сравнения с предлагаемыми к использованию понизителями фильтрации ГЭЦ 200000DR (Т<sub>0</sub>) были выбраны другие рассматриваемые образцы понизителей фильтрации: ГЭЦ 100000DR (Т<sub>1</sub>), ГЭЦ 300DR (Т<sub>2</sub>) и Atren Cem 1 (Т<sub>3</sub>). Результаты расчета интегральных показателей для каждого образца представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес оценки	Баллы			
		T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Влияние на фильтрационные свойства	0,30	5	4	2	1
Минимальное воздействие на растекаемость	0,10	3	3	4	5
Влияние на мгновенную фильтрацию	0,15	5	3	1	1
Промышленная безопасность эксплуатации	0,03	3	3	3	3
Минимальное воздухововлечение	0,05	3	3	4	4
Экономические критерии оценки эффективности					
Стоимость производства продукта	0,18	2	3	3	3
Область применения разработки	0,12	4	3	2	1
Конкурентоспособность разработки	0,04	4	4	3	1
Предполагаемый срок использования	0,03	3	3	3	3
Итог	1	3,88	3,34	2,43	2,03

Результаты данного анализа демонстрируют заметное преимущество понизителя фильтрации ГЭЦ 200000DR над другими вариантами понизителей фильтрации. Даже несмотря на не самые лучшие экономические критерии эффективности, рассматриваемый реагент превосходит конкурентные варианты с точки зрения технических критериев ресурсоэффективности. Соответственно, понизитель фильтрации с наибольшим интегральным коэффициентом имеет наибольшие перспективы применения в промышленности по сравнению с аналогичными вариантами при должном развитии технологий и работ в данном направлении.

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Введение**

В настоящей выпускной квалификационной работе проводится исследование рецептур облегченных тампонажных растворов с пониженной водоотдачей, пригодных для цементирования нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях. В данном разделе магистерской диссертации осуществляется анализ возможных вредных и опасных факторов при работе с различными добавками для растворов в лабораторных условиях.

В качестве персонала рассматривается лаборант, рабочим местом которого является лаборатория тампонажных растворов. В обязанности лаборанта входит выполнение лабораторных испытаний и измерений при проведении исследования. Он также участвует в сборе и обработке материалов в процессе исследования в соответствии с утвержденной методикой работы. Лаборант подготавливает приборы и аппаратуру к проведению экспериментов, осуществляет его проверку и регулировку согласно разработанным инструкциям. Участвует в выполнении экспериментов, осуществляет необходимые вспомогательные операции, проводит наблюдения, снимает показания приборов, ведет рабочий журнал. Лаборант обрабатывает, систематизирует и оформляет в соответствии с рекомендациями научного руководителя результаты анализов, испытаний, измерений, ведет их учет.

В качестве исследуемого вещества выступает облегченный тампонажный раствор с различными облегчающими добавками и полимерами для регулирования его свойств: бентонитовый глинопорошек, АСПМ (алюмосиликатные микросферы), ОМД (облегченная минеральная добавка), вермикулит, биокремнезём, микрокремнезём, портландцемент, понизители фильтрации, пластификаторы, пеногасители.

Основной целью раздела является рассмотрение производственных факторов для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения

работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

## **5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

К работе в химической лаборатории, занимающейся исследованиями тампонажных растворов, допускаются лица, которые прошли:

1. Профессиональную подготовку с наличием соответствующего документа.
2. Медицинский осмотр.
3. Инструктаж по охране труда в производственном помещении.
4. Инструктаж по электро- и пожаробезопасности.
5. Инструктаж по оказанию первой помощи.
6. Обучение безопасным приемам и методам труда согласно соответствующей программе.
7. Стажировку на рабочем месте.
8. Проверку закрепленных знаний по правилам безопасности.

Лица, имеющие медицинские противопоказания, и лица моложе 18 лет к работе в лаборатории не допускаются.

Работник лаборатории должен проходить:

- повторный инструктаж не реже одного раза в три месяца;
- внеплановый инструктаж (при изменении правил охраны труда, модернизации или замене оборудования, изменении организаций и условий труда, при нарушении соответствующих инструкций, отсутствия на работе более чем 30 дней);
- целевой инструктаж;
- проверку полученных знаний по охране труда [50].

В целях компенсации за вредные условия труда согласно трудового кодекса Российской Федерации работодатели за свой счет обеспечивают работникам химических лабораторий: дополнительный отпуск, доплаты,

лечебно-профилактическое питание, медосмотры, средства индивидуальной защиты [60].

В настоящее время работники химических лабораторий пользуются правом на досрочное назначение трудовой пенсии по старости в возрасте: мужчины в 55 лет, женщины в 50 лет [56].

### **5.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Выход и вход в лабораторию должны быть свободны и не забаррикадированы оборудованием. Вытяжной шкаф должен стоять возле окна. Рабочее пространство шкафа должно быть свободным от химических веществ. Все используемые ингредиенты находятся на полках в нижней части шкафа. В лаборатории должна быть проведена вода и, если площадь лаборатории более или равна 42 м<sup>2</sup>, то устанавливаются минимум две раковины. Вся стеклянная посуда хранится на полках специальных шкафов, которые установлены у стен лаборатории. Вся громоздкая аппаратура свыше 35 кг (вискозиметры, анализаторы водоотдачи, верхнеприводные мешалки) устанавливается на отдельные столы вблизи розеток. Все дополнительное негромоздкое оборудование (рычажные весы, рН-метры, конус АзНИИ) устанавливаются на полках над рабочими столами. Огнетушители находятся в углах комнат.

### **5.3 Профессиональная социальная безопасность**

Актуальность проблем безопасности жизнедеятельности связана тем, что человек существует в окружении природных, антропогенных, технических, экологических, социальных и других факторов. Проблемы безопасности, оценки риска и защиты от опасностей сопровождали человечество со времени его появления. Адаптация человека к окружающей среде и повышение его защищенности реализуется путем подготовки персонала к труду и использования средств индивидуальной и коллективной защиты. Появляются

вопросы сохранения человеческого здоровья в процессе труда, приходится бороться с вредными и опасными факторами производства.

Производственная безопасность – система мер по защите жизни и здоровья персонала предприятий и граждан, их имущества, окружающей природной среды от вредных и опасных факторов, возникающих при авариях на опасных производственных объектах [28].

В таблице 11 представлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в химической лаборатории тампонажных растворов.

Таблица 11 – Вредные и опасные факторы при работе с облегченными тампонажными растворами

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа в лаборатории	отклонение показателей микроклимата в помещении		СанПиН 2.2.4.548-96 [58];
Подготовка и взвешивание химических реагентов	недостаточная освещенность рабочей зоны; запыленность воздуха рабочей зоны		ГОСТ Р 55710-2013 [53]; ГОСТ 12.1.005-88 [44];
Перемешивание раствора с помощью верхнеприводной мешалки	повышенный уровень шума на рабочем месте	вероятность поражения электрическим током	СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [59]; ГОСТ 12.1.038-82 [45]
Определением параметров на консистомере		вероятность поражения электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82;
Определение параметров на испытательной машине	недостаточная освещенность рабочей зоны	вероятность поражения электрическим током;	ГОСТ Р 55710-2013; ГОСТ 12.1.038-82;
Определение параметров на анализаторе водоотдачи		повышенная температура поверхностей оборудования; вероятность поражения электрическим током;	ГОСТ Р 51337-99 [52]; ГОСТ 12.1.038-82;
Размещение образцов в нагревательной ванне		повышенная температура поверхностей оборудования; вероятность поражения электрическим током;	ГОСТ Р 51337-99; ГОСТ 12.1.038-82;

### 5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Далее приводятся вредные и опасные факторы, причиной развития которых может стать тампонажный раствор на месторождении:

- повышенная запыленность рабочей зоны;
- раздражающее воздействие добавок на организм человека.

Повышенная запыленность. При добавлении реагентов в тампонажный раствор происходит поднятие мелкодисперсной пыли из-за низкой насыпной плотности добавок. Для предотвращения этого необходимо при работе равномерно, небольшими порциями вводить реагенты в тампонажную смесь. Облегченная минеральная добавка при концентрации 55 мг/м<sup>3</sup> является взрывоопасным, а осевшая пыль является пожароопасной.

Раздражающее воздействие на организм человека. При попадании добавок и частиц цемента на слизистые глаз и носа может возникнуть раздражение. При выявлении негативных эффектов необходимо промыть поверхность пораженных участков струей воды. В целях защиты, согласно [46] рабочие должны быть экипированы в защитные очки, перчатки, каски и соответствующую спецодежду.

### **5.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

Ниже проводится анализ опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть в химической лаборатории тампонажных растворов.

*Электрический ток.* Категория химической лаборатории по тампонажным растворам по опасности поражения электрическим током относится к помещениям с повышенной опасностью, потому что не исключены возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой [55].

В химической лаборатории тампонажных растворов присутствуют различные приборы, питаемые электрическим током: верхнеприводная мешалка, двое лабораторных весов, компьютер, консистометр, испытательная машина, анализатор водоотдачи. Во всех приборах установлены предохранители от скачков напряжений. Питание подводится посредством сетевых фильтров с



предохранителями, что дополнительно снижает возможность аварийной ситуации.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое, биологическое, световое воздействие.

Термическое воздействие тока характеризуется нагревом кожи и тканей до высокой температуры вплоть до ожогов. Электролитическое воздействие заключается в разложении органической жидкости, в том числе крови, и нарушении ее физико- химического состава. Механическое действие тока приводит к расслоению, разрыву тканей организма в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови. Механическое действие связано с сильным сокращением мышц вплоть до их разрыва. Биологическое действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей и сопровождается судорожными сокращениями мышц. Световое действие приводит к поражению слизистых оболочек глаз [42].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 12 [45].

Таблица 12 – допустимые значения напряжения прикосновения и токов

Род тока	$U, В$	$I, мА$
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	0,1

*Отклонение показателей микроклимата в помещении.* Один из основных факторов, влияющих на работоспособность и здоровье человека. Климатические факторы сильно влияют на жизнедеятельность, самочувствие и здоровье

человека. Неблагоприятное сочетание факторов приводит к нарушению терморегуляции.

В результате у человека нарушаются физиологические и химические процессы, которые направлены на поддержание постоянного температурного баланса тела в пределах 36–37 °С.

Микроклимат характеризуется:

- температурой воздуха;
- температура поверхностей;
- относительной влажностью воздуха;
- скоростью движения воздуха;
- интенсивностью теплового облучения.

Оптимальные параметры микроклимата представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, ф%	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21–23	20–24	60–40	0,1
Теплый	Iб	22–24	21–25	60–40	0,1

При отклонении показателей микроклимата рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, которые предусмотрены соответствующими нормами и соответствуют времени года [46].

*Недостаток естественного освещения.* Основная задача производственного освещения – поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы.

Виды естественного освещения бывают: боковое (через окна), верхнее (через зенитные фонари) и комбинированное. Применение той или иной системы естественного освещения зависит от назначения и размеров помещения, расположения его в плане здания, а также светового климата местности. При недостатке естественного освещения используется искусственное освещение,

комбинация которого называется совмещенное освещение.

Средняя освещенность на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк. Значение освещенности в зоне периферии должно быть не более 1/3 освещенности зоны непосредственного окружения. Значения освещенности в зоне непосредственного окружения в зависимости от освещенности в зоне зрительной работы приведены в таблице 14 [53].

Таблица 14 – Значения освещенности в зоне непосредственного окружения в зависимости от освещенности в зоне зрительной работы

<i>E<sub>ср</sub></i> зоны зрительной работы, лк	<i>E<sub>ср</sub></i> зоны непосредственного окружения, лк, не менее
Св. 750 включ.	500
“ 500 ”	300
“ 300 ”	200
“ 200 ”	150
“ 150 ”	150
“ 100 ”	100
До 500	До 50

Нормы освещенности  $E_{экс}$  и равномерности освещенности  $U_o$  в зоне зрительной работы независимо от плоскости нормирования, коэффициента пульсации освещенности  $K_{п}$ , объединенного показателя дискомфорта  $UGR$  и общего индекса цветопередачи  $R_a$  для работы в химической лаборатории приведены в таблице 15 [53].

Таблица 15 – освещение для точных измерений в лаборатории

<i>E<sub>экс</sub></i> , лк	<i>U<sub>о</sub></i> , не менее	<i>UGR</i> , не более	<i>R<sub>а</sub></i> , не менее	<i>K<sub>п</sub></i> , % не более
500	0,60	19	80	10

Недостаточная освещенность рабочего места и неправильная пульсация источника света могут быть причиной зрительных и психических заболеваний. В качестве источника освещения в лаборатории используются 36 люминесцентных ламп, каждая мощностью 18 Вт со световым потоком около

900 Лм.

*Повышенный уровень шума.* Шум является одним из наиболее распространенных неблагоприятных факторов воздействия на окружающую среду, причем в последние десятилетия наблюдается тенденция его неуклонного роста. Механизация и автоматизация производственных процессов, наряду с повышением производительности и облегчением условий труда, создает усиление шума на рабочих местах.

Источниками шума в лаборатории является верхнеприводная мешалка во время приготовления тампонажного раствора.

Длительное воздействие шума или звука приводит к утомлению органа слуха и его патологическому состоянию. Действие шума на организм человека может проявляться в следующих основных направлениях:

- орган слуха;
- функции отдельных органов и систем;
- организм в целом, в частности высшая нервная система;
- деятельность и вегетативная реактивность.

Шум нормируется значениями предельно допустимого уровня звука. Допустимые уровни шума на рабочих местах регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.562-98 [58]. Допустимый безопасный уровень шума на рабочих местах составляет 80 дБА. Важнейшей мерой профилактики вредного влияния шума является проведение предварительных и периодических медицинских осмотров.

Периодическими медицинскими осмотрами обеспечивается динамическое наблюдение за состояниями здоровья людей, которые работают во вредных условиях, и своевременное выявление начальных признаков профессиональных заболеваний. При всех видах трудовой деятельности, связанной с воздействием интенсивного производственного шума, осмотры проводятся:

- один раз в 24 месяца - при уровне шума 80-99 дБА;
- первый осмотр отоларингологом через шесть месяцев после

предварительного медицинского осмотра.

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для измерительной и аналитической работы в лаборатории, разработанные с учетом категорий тяжести и напряженности труда, представлены в таблице 16 [59].

Таблица 16 – Предельно допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	60
93	79	70	68	58	55	52	52	49	

*Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны.* Вредное биологическое действие химических веществ начинается с определенной пороговой концентрации. ограничение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны до предельно допустимых концентраций (ПДК<sub>рз</sub>) применяют для ограничения неблагоприятного воздействия вредных веществ. В связи с тем, что требование полного отсутствия промышленных ядов в зоне дыхания работающих часто невыполнимо, особую значимость приобретает гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны [44, 52].

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДКРЗ) – концентрация вещества, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

ПДКРЗ, как правило, устанавливают на уровне в 2–3 раза более низком, чем порог хронического действия. При выявлении специфического характера действия вещества (мутагенного, канцерогенного, сенсибилизирующего) ПДКРЗ

снижают в 10 раз и более.

По степени потенциальной опасности воздействия на организм вредные вещества подразделяются на 4 класса:

1-й класс – вещества чрезвычайно опасные  $ПДК_{P3} < 0,1$  (диоксид хлора, озон, бензпирен, ртуть металлическая, свинец и др.);

2-й класс – вещества высоко опасные  $0,1 \leq ПДК_{P3} \leq 1$  (серная и соляная кислоты, растворы едких щелочей, бензол, метилмеркаптан, фенол, хлор, и др.);

3-й класс – вещества умеренно опасные  $1 < ПДК_{P3} \leq 10$  (диоксид серы, оксид цинка, камфора, спирт метиловый, сернистый ангидрид и др.);

4-й класс – вещества малоопасные  $ПДК_{P3} > 10$  (аммиак, фреон, этиловый спирт, бензин, толуол, окись углерода, диметил сульфид и др.).

ПДК в атмосферном воздухе рабочей зоны задействованных в работе веществ представлены в таблице 17.

Таблица 17 – ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Наименование вещества	N CAS	Предельно допустимые концентрации мг/м <sup>3</sup>		Лимитирующий показатель	Класс опасности
		Предельно допустимые	Предельно допустимые		
АСПМ	7447-40-7	0,03	0,01	рез.	4
Вермикулит	1309-48-4	0,4	0,05	рез.	3
Пыль ПЦТ-I-100	9005-25-8	0,5	0,15	рез.	4

Ориентировочные безопасный уровень воздействия ОМД указывается производителем и равен 0,150 мг/м<sup>3</sup> [37].

*Работа с горячими поверхностями.* При работе в лабораторных условиях контакт с горячими поверхностями может происходить преднамеренно, если это предусмотрено требованиями при работе с оборудованием, и непреднамеренно, если человек находился рядом с оборудованием.

Источниками горячих поверхностей в лаборатории являются нагревательная рубашку анализатора водоотдачи OFITE, испытательная ячейка,

а также специальные нагревательные ванны для помещения туда балочек цемента.

Контакт с такими поверхностями может вызывать ожоги у человека. При этом основными факторами при оценке рисков получения ожог являются температура поверхности, материал оборудования, а также продолжительность контакта кожи с поверхностью. Помимо возникновения ожогов может происходить нарушение циркуляции при потере жидкости, что характерно для ожогов более 10% кожи, кроме того, нагрев некоторых важных частей тела человека может приводить к недопустимому напряжению. Если ожоговый порог, установленный в ГОСТ Р 51337-99 [44] не достигнут, то риск ожога при соприкосновении кожи с горячей поверхностью обычно отсутствует, однако может возникать боль. Для характерного в лаборатории оборудования ожоговые пороги при соприкосновении представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Ожоговые пороги при соприкосновении с поверхностью

материал	Ожоговый порог $T_s$ , °C, при продолжительности контакта		
	1 мин	10 мин	8 ч и более
металл без покрытия	51	48	43
металл с покрытием	51	48	43
керамика, стекло и камень	56	48	43
пластик	60	48	43
дерево	60	48	43

Для предотвращения получения ожогов в лабораторных условиях необходимо использовать специальные перчатки, а при преднамеренном контакте во время выгрузки испытательной ячейки и помещении образцов балочек в ванну следует ограничивать время контакта с горячими поверхностями.

### **5.3.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов**

*Электрический ток.* Для защиты от электричества на всех устройствах, подключенных к источнику тока, должны быть установлены предохранители, защитные устройства зануления и заземления, изолирующие устройства и покрытия. В случае, если объект представляет повышенную опасность, на нем должны быть нанесены знаки безопасности, а вокруг оградительные устройства. Не допускается включать несколько электрических приборов в сетевой фильтр без предохранительного клапана. Все работники лаборатории должны носить диэлектрические обувь, перчатки.

*Отклонение показателей микроклимата в помещении.* Для нормализации микроклимата лабораторных помещений и рабочих мест должны быть установлены устройства дезодорации воздуха, автоматического контроля и сигнализации, отопления, локализации вредных факторов, кондиционирования воздуха, вентиляции и очистки воздуха, а также поддержания нормируемой величины барометрического давления.

*Недостаток естественного света.* С целью нормализации освещения в лаборатории должны быть установлены исправные, стабильно работающие источники света, светозащитные устройства, световые проемы, светофильтры и аварийное освещение. Цветовое решение интерьера должно отвечать психологическому комфорту работающих в лаборатории людей. Для большего освещения используется белая покраска стен и потолка.

*Повышенный уровень шума.* Для защиты от шума в лаборатории установлены звукопоглощающие, звукоизолирующие материалы на стенах. Лаборантам выдаются противошумные наушники или вкладыши.

*Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны.* Все химические лаборатории оборудуются устройствами искусственной вентиляции и очистки воздуха (вытяжные шкафы) для удаления токсичных веществ, также должна присутствовать и естественная вентиляция в виде открывающихся окон. Все



работники лаборатории, работающие с химическими реагентами, экипированы в защитные очки, специальные перчатки, лабораторные халаты, фартуки и, по необходимости, работают в респираторах.

*Работа с горячими поверхностями.* Для защиты кожи при работе с нагретым оборудованием используются плетеные и резиновые перчатки во время выгрузки испытательной ячейки из нагревательной рубашки анализатора водоотдачи, а также при размещении образцов балочек в нагревательной ванне. При этом во время выполнения данных операция ограничивается время контакта с нагретой сталью и водой в ванне [46].

#### **5.4 Экологическая безопасность**

*Воздействие на атмосферу.*

Основными источниками загрязнения атмосферы при исследовании облегченных тампонажных растворов является пыль портландцемента и пыль от используемых добавок, которая образуется в процессе взвешивания и приготовления цементного раствора. Согласно РД ССПБ-2 [50] пыль не наносит вреда окружающей среде, так как она является продуктом биоразлагаемых веществ.

Для предотвращения образования большого количества пыли необходимо аккуратно взвешивать добавки и вводить реагенты в смесь. Для очистки воздуха от возможных механических примесей можно применить аппараты мокрой очистки такие, как туманоуловители, абсорберы и другие. В канале вытяжной вентиляции необходима установка фильтра.

*Воздействие на гидросферу.*

Основной вид загрязнения гидросферы при использовании тампонажных растворов – слив лабораторных проб в сточные воды. При этом в водной среде данная смесь отдельно разделяется на частицы портландцемента и применяемые в исследованиях добавки, которые по-разному могут влиять на воду и

образовывать в ней крупные частицы твердой фазы.

Для предотвращения негативного воздействия на гидросферу необходимо использованные пробы бурового раствора сливать в специальные герметичные тары. Также рекомендуется использовать экологически чистые тампонажные растворы с реагентами, которые способны разлагаться в водной среде. В настоящее время многие используемые облегчающие добавки относятся к экологически безопасным [47].

Кроме того, для защиты гидросферы возможно применение ступеней очистки с физико-химическими и химическими методами очистки. При физико-химической обработке сточных вод обычно применяется флотация, адсорбция, ионный обмен. Флотация применяется для очистки вод от поверхностно-активных веществ. Адсорбционная технология с применением активированных углей позволяет получать остаточные концентрации основных загрязняющих веществ ниже нормативных значений. Химические методы подразумевают нейтрализацию сточных вод, которая обеспечивается смешением кислых и щелочных стоков, а также добавлением специальных реагентов. При этом необходимо доводить рН сточных вод до значения 6,5-8,5.

#### *Воздействие на литосферу.*

Загрязнение литосферы тампонажным раствором может происходить в результате неправильного хранения заполненных тар. В результате такого воздействия происходит повреждение почвенного слоя и растительности, возможно образование искусственного конгломерата в процессе твердения.

Для предотвращения загрязнения литосферы необходимо контролировать герметичность тар с тампонажным раствором и предотвращать утечки из них, осуществлять перевозку твердых компонентов раствора в герметичных упаковках. Возможно использовать твердую фазу в виде тампонажного камня в строительстве.

При выполнении работ в лаборатории следует соблюдать инструкции и правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной

безопасности, разработанные для данной нее.

## **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В условиях ведения работ в лаборатории тампонажных растворов согласно классификации может развиваться техногенная чрезвычайная ситуация, поскольку главным ее источником при проведении исследований является человек. При этом во время развития ЧС может не только наноситься ущерб имуществу лаборатории, но также может создаваться угроза жизни и здоровью сотрудников.

Источником возникновения чрезвычайной ситуации лаборант может стать как напрямую из-за своей низкой квалификации, нарушения технологии проведения исследований или несвоевременного обслуживания используемого оборудования, так и косвенно, из-за возможных ошибок при проектировании приборов и систем контроля и предупреждения о нестандартных ситуациях.

Полностью избежать возникновения чрезвычайных ситуаций невозможно, однако можно снизить потери при их развитии за счет мер предупреждения. В первую очередь, необходимо проведение профилактических мероприятий среди лабораторного персонала. Также имеет смысл разрабатывать новые подходы к проектированию исследовательского оборудования и систем предупреждения [61].

### **5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

Согласно федеральному закону №123-ФЗ [39] химическая лаборатория по тампонажным растворам по взрывопожароопасности относится к категории В1–В4, потому что присутствуют твердые горючие (мебель) и трудногорючие предметы, горючие жидкости (некоторые кислоты), а помещение не относится к категориям А и Б.

Самые распространенные чрезвычайные ситуации, возникающие в лаборатории, носят техногенный характер. Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация – пожар. В лаборатории причиной пожара могут служить электрические приборы, которые в том числе в своей конструкции имеют нагревательные устройства, в результате их выхода из строя или короткого замыкания. Все приборы своевременно проверяются на исправность, поэтому более вероятной причиной возникновения данного вида ЧС может стать короткое замыкание. По этой причине имеет смысл рассматривать ситуацию с возникновением пожара по причине короткого замыкания проводки.

### **5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Для предотвращения короткого замыкания в помещении лаборатории необходимо использовать электрические приборы согласно инструкции. Нельзя пользоваться рубильниками, розетками с повреждениями, а также сетевыми фильтрами без предохранителя, нельзя применять самодельные электрические приборы без согласия начальника по пожарной безопасности, запрещается оставлять без присмотра включенные в сеть электроприборы и использовать временную электропроводку.

При обнаружении признаков горения, повышения температуры, запаха гари, задымления в лаборатории необходимо:

- сообщить об этом по номеру 01 или 101 (назвать свое местонахождение, фамилию и имя);
- сообщить заведующему лабораторией;
- принять меры по тушению пожара с привлечением обслуживающего персонала;
- принять участие в эвакуации людей в соответствии с правилами и планом эвакуации, который приведен на рисунке 10.



Рисунок 10 – План эвакуации при возникновении ЧС в лаборатории тампонажных растворов

При возникновении пожара в лаборатории тампонажных растворов в качестве средств индивидуальной защиты имеется ящик с песком, один переносной углекислотный огнетушитель УО-2, асбестовое одеяло и аптечка скорой помощи. В качестве средств коллективной защиты используется автоматическая система оповещения о возникновении пожара.

## 5.6 Результаты выполнения раздела

При выполнении данного раздела была рассмотрена работа в лаборатории тампонажных растворов с точки зрения безопасности ведения работ. Произведен анализ вредных и опасных факторов при работе с тампонажным раствором, а также при использовании оборудования во время выполнении работ в лабораторных условиях. В соответствии с действующими стандартами определены мероприятия и средства защиты для снижения риска получения вреда и травм при проведении исследований.

В качестве персонала рассматривался лаборант, местом работы которого является химическая лаборатория тампонажных растворов. В целях повышения безопасности лаборанты должны регулярно проходить инструктажи и стажировки. Из-за вредности, рассматриваемой в данном разделе, работы лаборанты из лаборатории тампонажных растворов пользуются рядом льгот.

При проведении исследований предъявляются определенные требования

к компоновке рабочей зоны. В обязанности лаборанта входит подготовка приборов к исследованиям, их сборка, проверка и регулировка в соответствии с действующими инструкциями. После проведения исследований все задействованное оборудование должно возвращаться на свое место для сохранения спроектированной компоновки рабочей зоны.

Кроме того, в данном разделе был проведен анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду. Рассматривался используемый в экспериментах облегченный тампонажный раствор с различного рода добавками для регулирования свойств, их влияние на окружающую среду. В соответствии с изложенными проблемами предложен комплекс мер для защиты атмосферы, гидросферы и литосферы от негативного воздействия разрабатываемых тампонажных растворов.

Поскольку местом проведения работ является лаборатория тампонажных растворов, наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в данных условиях является возникновение пожара, для чего предложен комплекс мер на случай возникновения ЧС.

## **Заключение**

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований облегченных тампонажных растворов. В процессе выполнения осуществлялся подбор рецептур с использованием различных облегчающих добавок при различном водоцементном отношении, в результате чего были получены определенные закономерности изменения плотности рассматриваемых растворов. Впоследствии проводились серии испытаний при определении параметров отобранных рецептур облегченных тампонажных растворов с целью установления наилучшей облегчающей добавки, которой была принята облегченная минеральная добавка. На заключительном этапе исследований осуществлялось совершенствование рецептуры тампонажного раствора на основе данной добавки с целью снижения показателя фильтрации в динамических условиях. Основные выводы и практические результаты исследования представлены далее.

При использовании облегчающих добавок с высокой насыпной плотностью снижение плотности тампонажного раствора в большей степени происходит благодаря высокому водоцементному отношению. Облегчающие добавки с низкой насыпной плотностью используются для замены части портландцемента с, при этом есть ограничения на концентрацию облегчающей добавки в составе с целью сохранения параметров тампонажного раствора в заданных пределах.

Некоторые из рассмотренных облегчающих добавок не позволяют получить требуемые параметры тампонажного раствора, а также подвержены деструкции в скважинных условиях. Лучше всего с точки зрения соответствия заданным параметрам показали себя вермикулит и облегченная минеральная добавка. Недостатком вермикулита является образования вермикулитовых пробок при остановке циркуляции, в результате чего широкого применения данная добавка в настоящее время не нашла.

Приемлемый результат с точки зрения получения заданных параметров показал облегченный тампонажный материал на основе портландцемента ПТЦ-100 с воздухововлекающей добавкой ОМД. Использование данной добавки позволяет добиться существенного снижения плотности тампонажного раствора без ухудшения его характеристик и качества тампонажного камня. При этом данная добавка отлично показывает себя в скважинных условиях работы, поскольку не разрушается под действием избыточного давления.

Установлено, что измерения показателя водоотделения в соответствии со стандартами в действительности не отражают реальную фильтрацию, которая может присутствовать в скважинных условиях и оказывать всесторонние негативные воздействия как на продуктивный пласт, так и на качество самой заканчиваемой скважины. Для получения реального представления о влиянии фильтрата тампонажного раствора на продуктивный пласт необходимо проводить испытания в динамических условиях с измерением показателя водоотдачи.

При заданных требованиях к плотности, растекаемости и показателю фильтрации наиболее эффективно показатель водоотдачи снижает гидроксиэтилцеллюлоза марки 200000DR в небольших концентрациях благодаря особенностям строения цепи полимера. При этом требуется применение пластификатор для повышения подвижности раствора и пеногасителей для предотвращения вовлечения воздуха в состав. При низких значениях водоцементного отношения достаточным может быть гидроксиэтилцеллюлозы марки 100000DR с более короткой молекулой полимера, поскольку зерна цемента располагаются на незначительном расстоянии друг от друга.

Карбоксиметилкрахмал снижает показатель водоотдачи под действием избыточного давления менее эффективно с возможностью полного осушения тампонажного раствора до окончания схватывания цемента, поскольку имеет более разветвленное строение. Соответственно, для снижения фильтрации



необходимо значительно увеличивать концентрацию добавки. Кроме того, при применении КМК после гидратации портландцемента не происходит его твердения, в результате чего необходимо применение ускорителей схватывания с высокой концентрацией и пластификаторов в ряде случаев для повышения подвижности тампонажного раствора.

В будущих исследованиях планируется проводить работу по оценке влияния деструкции облегчающих добавок на получаемые свойства облегченных тампонажных растворов и возможность их регулирования. Для оценки влияния скважинных условий на показатель водоотдачи необходимо проводить исследования на анализаторе водоотдачи с использованием одной рецептуры при различных давлениях и температурах. Кроме того, необходимо оценить эффективность других современных понизителей фильтрации, к которым относятся гуматы, лигносульфонаты, эфиры целлюлозы и акриловые полимеры.

## Список использованных источников

### Основные источники:

- 1 Апаев А.А. Исследование фильтрационных свойств тампонажных растворов / А.А. Апаев, А.А. Кабдушев // Молодой ученый. – 2018. – № 18. – С. 39 – 42.
- 2 Белей И.И. Инновационные технологии в креплении нефтяных и газовых скважин / И.И. Белей, А.С. Коростелев, С.А. Кармацких, Л.М. Каргапольцева, С.А. Родер // СпецЦементсервис. – 2015. – 27с.
- 3 Белей И.И. Разработка и применение новых облегченных тампонажных материалов для цементирования обсадных колонн при нормальных и умеренных температурах / И.И. Белей, Н.Е. Щербич, В.Ф. Штоль, Н.А. Долгушина // Бурение и нефть. – 2006. – с. 12–15.
- 4 Белей И.И. Типы применяемых облегченных тампонажных растворов для крепления скважин на газоконденсатных месторождения Севера Тюменской области / И.И. Белей, В.Ф. Штоль, Н.Е. Щербич // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2005. – с. 30–32.
- 5 Бубнов А.С. Исследование реологических характеристик и водоотделения облегченного тампонажного раствора с облегчающей добавкой вермикулит вспученный / А.С. Бубнов, И.А. Бойко, И.Н. Барышев, В.С. Хорев // Территория нефтегаз. – 2014. – с. 70–73.
- 6 Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. – М.: Недра, 1990. – 409 с.
- 7 Вяхирев В.И. Облегченные и сверхлегкие тампонажные растворы. – М.: Недра, 1999. – 180 с.
- 8 Гасумов Р.А. Факторы, влияющие на качество крепления скважин месторождений крайнего севера / Р.А. Гасумов, О.С. Кондренко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – с. 57–62.
- 9 Гельцементные растворы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studref.com> (Дата обращения: 17.04.19 г.).

- 10 Григулецкий В.Г. Опытнo-промышленные работы при цементировании обсадных колонн газовых скважин Песцовой площади Уренгойского месторождения // Нефтегазовые технологии. – 2007. – № 11. – С. 2 – 14.
- 11 Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов. – М.: Недра, 1978. – 294 с.
- 12 Данюшевский В.С. Справочное руководство по тампонажным материалам / В.С. Данюшевский, Р.М. Алиев, И.Ф. Толстых // М.: Недра, 1987. – 373 с.
- 13 Детков В.П. Аэрированные суспензии для цементирования скважины. – М.: Недра, 1991. – 175 с.
- 14 Ивачев Л.М. Промывочные жидкости и тампонажные смеси: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987. – 242 с.
- 15 Комлева С.Ф. Тампонажные растворы с пониженной водоотдачей: диссертация кандидата технических наук. – Уфа, 2007. – 203 с.
- 16 Крутицкий Н.Н. Инструкция по расчету экологичности внедрения облегченных цементов для горячих скважин (ОЦГ). – Краснодар: МНП ВНИИКРнефть, 1975. – 14 с.
- 17 Курбанов Я.М. Совершенствование составов и технологических свойств облегченных тампонажных растворов / Я.М. Курбанов, Н.Х. Каримов, Э.Н. Хафизова // Нефть и газ. – 2002. – с. 18–24.
- 18 Мамаджанов У.Д. Фильтрация промывочных и цементных растворов. – Ташкент: Наука, 1964. – 103 с.
- 19 Микросфера поликамерная. Облегчающая минеральная добавка ОМД-Х9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// spb.tiu.ru](http://spb.tiu.ru) (Дата обращения: 14.04.19 г.).
- 20 Методы определения физико-механических показателей тампонажного раствора. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// rukovodstvo.ru](http://rukovodstvo.ru) (Дата обращения: 21.04.19 г.).
- 21 Новохатский Д.Ф. Особенности приготовления и применения сверхоблегченных тампонажных растворов на основе микросфер / Д.Ф.

Новохатский, А.Е. Нижник // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – с. 45–49.

22 Общие сведения о буровых тампонажных растворах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studfiles.net> (Дата обращения: 24.04.19 г.).

23 Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие тампонажные растворы для крепления нефтегазовых скважин. – Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – с. 34–36.

24 Пашков Е.Н. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ / Сост. Е.Н. Пашков, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 24 с.

25 Перейма А.А. Применение безусадочных тампонажных материалов для повышения качества крепления скважин / А.А. Перейма, Н.М. Дубов, В.С. Барыльник, С.А. Бражников, Н.В. Самсоненко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – с. 41–45.

26 Пономаренко М.Н. Особенности цементирования скважин в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся поглощением бурового раствора / М.Н. Пономаренко, Р.А. Гасумов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – с. 52–55.

27 Пономаренко М.Н. Технология крепления скважин в условиях одновременных поглощений и газопроявления: диссертация кандидата технических наук. – Ставрополь, 2008. – 138 с.

28 Производственная безопасность. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://center-yf.ru> (Дата обращения: 01.05.19 г.).

29 Романов В.Г. Исследование и разработка модифицированных тампонажных композиций для изоляции водопроницаемых пластов с низким градиентом давления в нефтяных и газовых скважинах: диссертация кандидата технических наук. – Краснодар, 2002. – 125 с.

- 30 Самсоненко А.В. Влияние водоотдачи буферного и тампонажного растворов на качество цементирования скважин / А.В. Самсоненко, С.Л. Симонянц, К.С. Двукарев, И.В. Самсоненко, Н.В. Самсоненко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – с. 26–30.
- 31 Стельмак Р.В. Новые облегченные седиментационно-устойчивые тампонажные растворы, разработки и производства ОАО “НПО Бурение”, без применения микросфер и других облегчающих минеральных добавок для высокоэффективного цементирования обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах / Р.В. Стельмак, Д.Ф. Новохатский, Л.И. Рябова, Ю.В. Гринько // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – с. 49–50.
- 32 Сторчак А.В. Тампонажные смеси для крепления скважин в условиях аномально низких пластовых давлений. – Пермь: Научные исследования и инновации, 2010. – с. 58–60.
- 33 Сулакшин С.С. Разрушение горных пород при проведении геолого-разведочных работ: учебник / Сулакшин С.С., Чубик П.С. // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011 г. – 367 с.
- 34 Тампонажные растворы с пониженной водоотдачей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// earthpapers.net](http://earthpapers.net) (Дата обращения: 20.04.19 г.).
- 35 Тампонажная смесь: патент СССР №739216; заявл. 27.02.78; опубл. 15.06.80, Бюл. № 21 – 2 с.
- 36 Тейлор Х. Химия цемента. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
- 37 Толкачев О.Л. Технические характеристики облегченной минеральной добавки. – М.: Сфера-НСК, 2018. – 2 с.
- 38 Фефелов Ю.В. Облегченные тампонажные составы / Ю.В. Фефелов, О.А. Чугаева, О.Г. Кузнецова, Е.Г. Захарова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – с. 104–107.
- 39 ЧС техногенного характера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://>

[ohrana-bgd.ru](http://ohrana-bgd.ru) (Дата обращения: 03.05.19 г.).

40 Чубик П.С. Практикум по промывочным жидкостям: учеб. пособие для студ. вузов / П.С. Чубик. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1991. – 100 с.

41 Шляховой Д.С. Влияние фильтрата тампонажных растворов на загрязнение продуктивного пласта / Д.С. Шляховой, Л.И. Рябова // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – с. 52–57.

42 Экология и безопасность жизнедеятельности. Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др. / Под ред. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.

43 Klieger P. In Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. – Philadelphia, 1966. – 530 p.

#### **Нормативно-правовые источники:**

44 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 49 с.

45 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: ВЦСПС, 1983. – 7 с.

46 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М.: ИПК издательство стандартов, 1990. – 8 с.

47 ГОСТ 1770-74 Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. – М.: Стандартинформ, 1974. – 22 с.

48 ГОСТ 26798.1-96 Цементы тампонажные. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1998. – 19 с.

49 ГОСТ 26798.2-96 Цементы тампонажные типов I-G и I-H. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1998. – 17 с.

50 ГОСТ 29227-91 Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки градуированные. – М.: Стандартинформ, 2008. – 11 с.

51 ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – М.: Стандартинформ, 2003. – 11 с.

52 ГОСТ Р 51337-99. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические

данные для установления предельных величин горячих поверхностей. – М.: Госстандарт России, 2000. – 14 с.

53 ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – М.: Стандартиформ, 2014. – 19 с.

54 Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (последняя редакция) “О недрах”

47 РД ССПБ-2. Требования к испытательным лабораториям и порядок их аккредитации. – М.: ЗАО “Кодекс”, 2006. – 42 с.

55 ПНД Ф 12.13.1-03 Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2003. – 30 с.

56 Постановление правительства от 25.10.1974 N 298/П-22 “Об утверждении списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день”.

57 РД ССПБ 2. Требования к испытательным лабораториям и порядок их аккредитации. – М.: Пожарная безопасность, 2006. – 34 с.

58 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав РФ, 1996. – 7 с.

59 СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Минздрав РФ, 1996. – 9 с.

60 Стандарт API Specification 10A / ISO 10426-1 Испытания тампонажных цементов в соответствии со стандартами API/ISO: аппаратная реализация методов.

61 Федеральный закон от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) “ТК РФ статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда”.

62 Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

### Formulation of lightweight cementing slurries with reduced water loss

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Карпенко Владислав Эдуардович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Минаев Константин Мадестович	к.х.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Лысунец Татьяна Борисовна			



## **1 Well cementing purpose**

Cementing slurry is a heterogeneous polydisperse system capable of transitioning from a viscous-plastic state to a solid state in air and liquid for some time. Cementing slurries are special reagents or their compositions used for plugging that is filling a well or its individual intervals. Over time it is harden and forming a cement stone. Depending on the purpose of tamping, the mixture should perform a number of functions.

Oil and gas interval isolation. The intervals of productive layers location are plugged to prevent the inflow of formation water into them, fluids, as well as the formation of behind-the-casing flows. As a result, such cementing slurry should create a reliable isolation of the annular space for a long time. It should protect casing strings against corrosion and increase their resistance to loads. Since the formation water has a high mineralization, this significantly intensifies the corrosion of the casing. Accordingly, the isolation of the annulus eliminates the interaction of the casing with formation water and significantly extends its service life. In addition, the formed monolithic ring of cement stone increases the resistance of the pipes used to various loads.

Casing fastening. Cementing is used to eliminate areas with possible complications. These include intervals with possible collapses of the well walls and the occurrence of cavities.

Strengthening the borehole walls in fractured rocks. Penetrating into the cracks of unstable rocks and hardening in them, the solution forms a conglomerate mass around the well that is resistant to the actions of various loads. Regardless of the application, the cementing slurries are multifunctional. In addition to the main function of cementing slurries, which are manifested when plugging casing, you can also highlight the secondary functions.

The elimination of absorption and water manifestations. Permeable channels are filled with grouting mixture, thereby isolating the area around the well. After

hardening, the cementing stone becomes resistant to pressure drops when performing various technological operations.

Creating bridges for special works. Cement bridges serve as a support for various kinds of devices when conducting research and as isolating well intervals, as well as for drilling new stems, moving to an overlying object and preserving a well. First of all, in the preparation and use of cement slurry requirements of a technical nature.

The solution should have a sufficient indicator of the flowability and keep the property to remain fluid for the time required for injection. At the same time, after the completion of the injection process, the solution should thicken, and the cement stone in the third stage of structure formation to gain strength as quickly as possible. The tamping mixture should easily penetrate into the pores and micro cracks, but at the same time not spread in them under the action of its own weight. Accordingly, the solution should have sedimentation stability.

Cement stone must have good adhesion with casing pipes and rocks, have sufficient mechanical strength and keep corrosion resistant to the effects of formation water.

Cementing slurry should have a slight hydraulic resistance when it is displaced through the drill pipe and in the annulus, but in permeable rocks this resistance should increase to prevent the mixture from entering the formation. The cement mixture should be susceptible to carrying out treatments when regulating properties and not interact with plugged rocks and formation waters, to be resistant to the scouring effect of formation waters.

In downhole conditions with high temperatures and pressures, the solution should maintain its stability, and when cured it should not shrink to form cracks, voids, channels and remain impermeable to liquids and gases.

Technological requirements determine the possibility of convenient, productive and safe use of cement slurries. Accordingly, it should be easily pumped, be inert to the flushing fluids, easily be washed away from the process equipment, and

be non-toxic. Economic requirements imply that the resulting cement mixture must be non-deficient and inexpensive.

It becomes clear that now it is almost impossible to obtain such cementing slurries which will satisfy all the considered requirements. Therefore, during it is mixing, satisfying one requirement, it is necessary to monitor the extent to which the rest will be satisfied. Depending on the conditions of work, geological, and technical requirements establish the basic requirements and minor, which can not be observed so strictly.

During the well cementing in the fields of the Far North, Western Siberia, offshore seas and other areas, a problem arises due to the difficult geological and technical conditions of well construction. First of all, these deposits are characterized by high bottomhole temperatures, with low in the upper part of the section. As a result of the process of pushing the cement mixture, the cement undergoes heating and further cooling with solidification at low temperatures. The greatest problem is the hardening of cements in the conditions of perennial-frozen rocks (PFR). They do not seize, but freeze at temperatures below zero. If there is a freezing before setting, then ice streaks form in it, which turn into cracks when the specimen is thawed and further cured. Cracks are the cause of the decrease in the strength of the cement stone and the increase in permeability.

If the well implies operation with cyclically varying temperatures, the cement slurry must have sufficient heat resistance to prevent aging of the cement stone. In addition, when attaching wells in areas of the far north, the PFR notes that as the distance from the casing and the borehole wall increases. The quality of adhesion of cement stone to casing pipes deteriorates, which ultimately can lead to unreliable well fixation and development of behind-the-casing flows, in particular gas migration.

The effect of contraction for casing cementing conditions at low, normal and moderate temperatures is considered. This effect lies in the fact that there is a gap between the cement stone and the surface of the casing, which can cause annular gas

shows, annular fluid flows with saturation of the overlying layers, griffon formations and open gas fountains.

When cementing in loosely bound rocks at abnormally low reservoir pressures, which are more likely to absorb cement slurry, due to their tendency to fracturing and hydraulic fracturing, resulting in under-elevation of the cement slurry to the wellhead, inter-column gas generation. Often, cementing does not ensure continuity of the cement ring, in some places behind the casing cement stone is missing partially or completely. Tightness violation of the annular space leads to a decrease in the possible flow rate of the well, as well as to the law violations of subsoil protection.

## **2 Manufacturing of cementing slurry**

To understand the mechanism of additives action to reduce filtration, as well as the basics of regulating the properties of cement slurry and cement stone, it is necessary to consider the processes occurring during the formation of the cement stone from the cement mixture.

The main part of portland cement are clinker minerals, obtained artificially by burning a mixture of limestone and clay at temperatures up to 1450 °C. The composition of the roasting mixture is strictly regulated so that it contains a strictly defined ratio of oxides used: calcium - 64-68%, silicon - 19-23%, aluminum - 4-8%, iron - 3-6%. During firing, this mixture of the part melts and the resulting firing product has the form of granules with a size of up to 30 mm and is called clinker. Composition of clinker is tricalcium silicate, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, tetralcium alumoferrite, clinker glass.

In portland cement clinker, tricalcium silicate contains oxide impurities of magnesium, aluminum, iron, chromium and in this variety is called alite, and dicalcium silicate exists in  $\beta$ -form, contains impurities of manganese, chromium, sulfur, phosphorus oxides and is called belite. In general, clinker should contain at least 75% of alite and belite, including at least 55% of alite. Alite gives portland cement quality

binders - fast hardening with moderately fast setting. Slow hydration of the belite ensures the durability of the cement stone as a result of micro damage healing that appeared during its hardening. Portland cement is obtained by grinding the clinker with the obligatory addition of 3 - 7% to it to control the setting speed of the cement slurry and increase the strength of the cement stone.

When dry portland cement is mixed with the mixing fluid, the hydration process begins with the dissolution of the clinker mineral surface. The products of dissolution in the form of individual ions and their hydrates pass into the mixing fluid, which is gradually saturated with the reaction products until complete saturation. Then a new crystalline phase arises in this saturated solution. The rate of dissolution of the cement grain surface determines the speed of the whole hydration process, which, in turn, is directly related to the speed of setting and hardening. Since the formation of the cement gel begins the process of structure formation.

The product of alite and belite hydration is calcium hydrosilicate, which is structurally similar to the natural mineral tobermorite. The neoplasms are concentrated mainly around the partially dissolved grains of the original clinker minerals, forming a finely porous mass, which is commonly called cement gel.

The pore size of the cement gel is smaller than the dimensions of the elemental tobermorite bags. Therefore, the crystallization of the latter in the pores of the gel is impossible. It occurs only after diffusion of the cement grain surface dissolution products through the shell of the cement gel into the interparticle space. Bound water is approximately 20% by weight of cement. Thus, as a result of hydration, the amount of mixing fluid decreases, and the amount of the dispersed phase of the cementing slurry increases due to the fact that some of the water that reacts with the cement goes into its composition.

Grains of cement and elementary packages of the tobermorite begin to contact with each other keen edges and edges on which thickness of a hydrate cover is significantly less and thereof it is less also force of pushing away. The mesh structure from grains of cement and elementary packages of the tobermorite penetrating all

volume of solution is as a result formed. Such structure thixotropic, that is after its mechanical destruction communication between firm particles is reestablished.

In process of crystal growth a durability of coagulative structure raises, increases number of communications and there is a direct connection (but not through hydrate covers) between particles, there are contacts of accretion of new growths more and more, the area of such contacts increases, the prevailing influence in a system is got by strong chemical bonds. It is the beginning of a concrete setting. The following there occurs curing process. There is a final formation of the crystallizational structure having the high mechanical durability, elastic and fragile properties. Destruction of communications between particles of such structures is irreversible.

Additives, which work in the course of cement curing, are also entered into cementing slurry.

The mechanism of softener effect consists in blocking of the active centers on edges of grains of cement and edges of elementary packages of new growths. It interferes with coupling or weakens adhesion forces with each other and by that slows down process of structuration or considerably reduces durability of coagulate structure, and respectively, plastic viscosity and dynamic tension of shift.

The mechanism of fluid loss additive consists in increasing of the connected water in cementing slurry, increasing in viscosity of the dispersive environment, decreasing in permeability of a bottom hole zone of the well (due to formation of an internal filtrational crust). At the same time, bentonite is specified as the most popular water loss additive.

### **3 Lightweight cement**

Basic purpose of the lightweight cementing slurries is cementation of upsetting columns of wells in rocks with low gradients of hydraulic fracturing and in the absorbing horizons and also for a column pumping simplification of grouting mix to

assigned altitude. Besides, these solutions are applied to reduce a cost of well cementation due to economy of high-quality cementing slurry.

There are various approaches for density decreasing in cementing slurries:

- Replacement of a part or all liquid replacement with liquid of smaller density;
- Replacement of all or parts of the knitting substance with the knitting substance of smaller density;

- Replacement of all or parts of additive with additive of smaller density; parts of the knitting substance the special additive having density, smaller in comparison with it;

- Replacement of volume of firm and liquid phases with a gaseous phase.

Gel cement is the name of the cementing slurry, containing the quality of the facilitating clay additive. These clays have density of 2,300-2,600 kg/m<sup>3</sup> and are entered usually in quantity up to 20% of the mass of a firm phase. Therefore decreasing in density due to the introduction of less dense component of a firm phase is small and the gel cement of solutions in comparison with usual is reached generally due to significant increase of water content.

Researches show that at the density over 1.55 g/cm<sup>3</sup> the solutions have low spreadability, and at the smaller density the filtration indicator increases. The reduction of an indicator filtration is impossible as a large amount of clay for binding of free water as it will lead to considerable deterioration in physicomechanical properties of the received cementing slurry and a stone. At the same time terms of a concrete setting are extended at low temperatures, and while the density durability of a gel cement stone decreases.

Now it is possible to use different lightweight cementing slurries with various types of microspheres, such as artificial glass microspheres, ceramic microspheres, polymeric microspheres, aluminosilicate microspheres as products of central heating and power plant ashes processing. The main advantage of these additives is a high degree of solution relief with low water-cement ratio. As a result, it is formed a cement stone with the required strength characteristics. At the same time, the use of these

facilitating additives in the conditions of PFR decides problems of fast cement stone formation with sufficient durability. Shortcomings of these microspheres is the low durability of their covers. With an excessive pressure of 20-40 MPa there is a destruction and sedimentation of 30% — 50% of microspheres. The part of microspheres collapses with destruction of particles on separate fragments, and the most part has a formation of micro cracks on a surface. As a result of excessive pressure the cavity of the explored microspheres are filled with liquid and there is their sedimentation that leads to reduction of volume of grouting mix and sharp growth of density.

Currently, silica-containing minerals, in particular sedimentary rocks (flask, diatomite, tripole), volcanic (pumice, perlite, tuff) and technogenic (silica gel, ash, silica gel) origin are used in the preparation of lightweight cementing slurries. There is a high compressive strength of these materials – 10-18 MPa, it is possible to obtain solutions with a density of 1400 kg/m<sup>3</sup>, as well as the strength of the grouting stone 3,2-3,8 MPa. Solutions are obtained corrosion-resistant in sulfate waters and have a low value of the water separation index. Data on the indicator of water yield is not given, which may be due to the destruction of the facilitating additive in the well conditions and the growth of filtration. The disadvantage of this additive is the rapid swelling and significant shrinkage.

It is proposed to use filtered perlite as the additives to obtain lightweight cement solutions in many works, which replaces the previously used expanded perlite. The disadvantage of swollen perlite is its rough surface and low strength, which can not withstand pressures above 5 MPa. As a result, the density of the solution increases by 150-250 kg/m<sup>3</sup>, the spreadability decreases to 50-90 mm, the solution becomes non-pumped. The advantage of filtered perlite is that it practically does not float in the water. Accordingly, in the event of filtration under static conditions, the mixing liquid will not carry this additive with it through the formed channels. The open structure of the grains and their particle size distribution provides good wettability and dispersion of the filter in cement mortar. Due to the fact that this additive has a low density and



high ability to retain water, it is possible to obtain solutions with a low density and a water separation index. However, when using filtered perlite, it is difficult to obtain a homogeneous dry mixture, and the additive has a relatively low strength, which in the construction of deep wells leads to the collapse and stratification of perlite, followed by an increase in the density and the rate of water separation.

In the literature, as an additive for lightweight cementing slurries there is proposed vermiculite, which is the result of hydraulic fluid swelling. Vermiculite additive is used in solutions to reduce density, as well as regulation of rheological parameters and water separation. It is noted that due to the minimum distance between the layers of mica vermiculite can perceive high pressures without destruction, thus maintaining the necessary values of density and water separation, as well as due to its structure can have a clogging effect. A big disadvantage of this additive is that when the circulation stops, the vermiculite stratification occurs with the formation of vermiculite plugs, as a result of which it is impossible to continue selling the cementing slurry in the future. It is also known that the concentration of vermiculite within 5-25% does not affect the static change in the parameters of spreading and water separation. Another disadvantage of this additive is that the additive is not able to bind all the water used for mixing. This is explained by the fact that due to the scaly structure during the preparation of the solution there is a capillary effect, so between the scales of vermiculite is not bound water. Accordingly, it can be concluded that due to the development of this effect, the solution will have an increased rate of water separation, which will increase in well conditions with increasing pressure and temperature.

#### **4 Modern air-entraining additives**

Currently, an unresolved issue is the selection of the optimal additive for obtaining a lightweight cementing slurry when cementing wells in complex geological conditions. On the one hand, such a solution must have and maintain the necessary density, spreadability and viscosity in the well conditions to remain pumped when

cementing deep wells with abnormally low reservoir pressures, on the other hand, the resulting grouting stone must have sufficient compressive strength and bending during well operation. From this point of view, it is possible to consider an air-entraining lightweight mineral additive, which has a low density and high strength.

Lightweight mineral additive (LMA) is a microspheres with a closed pore system, the size of which is from 10 microns to 350 microns, with an average particle diameter of 180 microns. It is used to obtain lightweight grouting cements with a density of 1000 - 1700 kg/m<sup>3</sup> in wells with temperatures up to 75°C and in conditions of permafrost. The manufacturer recommends to use LMA together with polymeric reagents to obtain the required parameters of the grouting mixture. The advantages include low bulk density, inertia, high mechanical strength, low thermal conductivity. This suggests that the lightweight mineral additive can be used for cementing deep wells without the risk of its destruction, followed by an increase in the density of the solution. The chemical composition of the additive as a percentage by weight is: SiO<sub>2</sub>–76%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–17%, (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) – 6%. The properties of the lightweight mineral supplement are as follows:

- Bulk density: 50-80 kg/m<sup>3</sup> (True density ~ 150 kg/m<sup>3</sup>);
- Isostatic strength in water at 100°C: 20% failure at a pressure of 40.0 MPa;
- Acidity of aqueous extract: neutral pH 6-7;
- Thermal conductivity: 0.04 W/(m\*K);
- Water absorption, % by volume: no more than 70;
- Water permeability: 25% for 200 hours;
- Miscibility in grouting cement: good;
- Non-toxic material

The principle of action of air-entraining admixtures is described in detail in the work of H. Taylor. Thus, a large number of air bubbles evenly distributed in the volume are created in the cement stone, which are inert – that is, an independent phase. This is achieved due to the fact that the air, evenly placed in the volume, forms a closed-porous structure of the stone in the hardening system. As a result, a reduced density is obtained

in comparison with conventional cementing slurry. In this case, the air involved forms a foam in the solution, which retains its shape in the hardening cement in the form of closely spaced spherical pores. To produce durable cement stone formed, the pores must be small in diameter. The size of the pores formed is 10 – 250 microns, and the pore space factor (the average distance from any point of the solution to the nearest pore) is 150 microns.

Hollow bubbles are formed with the involvement of air, which without the work of the air-entraining admixture in its majority are destroyed due to the action of the surface tension forces of the sealing liquid. In turn, the additive reduces the surface tension and stabilizes the bubbles, while the inner surface of the resulting sphere acts as a barrier to the penetration of liquid during the preparation and injection of the solution.

### **5 Requirements for low filtration of lightweight cementing slurries**

The process of well cementing is one of the most important stages of well construction in terms of reservoir properties preservation. Even with a slight pressure drop with sufficient permeability in the reservoir can begin to enter the liquid, which is significantly different in its properties from the reservoir. As a result, the operational properties of the reservoir deteriorate, fluid selection decreases and geological information may be distorted when cementing exploration wells.

In addition, in fractured and porous-fractured rocks, in addition to the liquid phase of the filtrate can penetrate the products of cement hydration and the solid phase particles, which under the action of temperature is converted into conglomerates and act as mudding in the pores of the formation. It is established that at high permeability of the reservoir in the process of cementing the productivity of the well is reduced by two times. After conducting a number of studies found that when exposed to a filtrate of the cement slurry, the coefficient of restitution of cores does not exceed 60%.

It should be understood that in the process of hydration of cement is hardening its structure, which is why there is additional resistance to filter the liquid phase and this figure decreases. When mixing the cementing slurry, which characterizes the turbulent flow regime, the structure is destroyed, and the filtration increases in this way. This effect showed that dynamic filtration of disperse systems is much more static. Since different filtration conditions are different, the studies consider separately the indicators of water separation and water yield.

The indicator of water separation characterizes the water-holding capacity and sedimentation stability of cementing slurry in static conditions. Being at rest, cement slurries are divided into phases, while the solid phase is compacted, and the liquid phase rises due to this upward, dragging the facilitating additives. As a result of such phenomena, channels can be washed in the hardening solution and breaks can be formed, which will not grow in the process of further hardening and can pass through the cement stone formation fluids.

The rate of water return characterizes the amount of liquid that is separated from the cementing slurry at a pressure drop, which develops during injection in dynamic conditions. The rate of return depends on the duration of mixing the solution, since the duration and intensity of mixing determine the number of small and minute particles obtained in the cement mortar, which act as an additional surface.

In addition to the deterioration of reservoir properties of the reservoir, the consequence of filtration of cementing slurries can be a quantitative change in the ratio of phases with a change in the water-cement ratio, which in turn can change the process of transition of the cementing slurry into the cement stone, which was considered earlier. As a result, the process of hydration of cement grains in the mixing liquid slows down, the formation of the structure is stretched, which leads to an increase in the cement setting time, as well as a decrease in the strength of the cement stone. In downhole conditions due to the large filtration rate cement mortar without a sufficient amount of liquid phase will begin to seize without strength gain.

Since it is possible to obtain lightweight cementing slurries by increasing the water-cement ratio, high filtration leads to loss of liquid from the mixture, which leads to an increase in the concentration of the solid phase and an increase in the density of the solution. This is especially critical in the construction of wells in loosely coupled rocks with abnormally low reservoir pressure. Accordingly, the filtration of the liquid phase can lead to hydraulic fracturing in the conditions under consideration.

The positive phenomena of filtration include improved adhesion of the cementing slurry to the casing and rocks, when the cement stone does not have a sufficient expansion coefficient, but it notes that this does not cover all the shortcomings.

The solution to the above problem is to develop such a lightweight cement mixtures, which, when penetrating into the bottom-hole formation zone, would have a minimal effect on the change in reservoir properties, and also remained sedimentary stable, suitable for completion of wells in complex geological conditions. In this case, the obtained parameters should be sufficient for high quality mounting of the casing.

To reduce the water loss of cement mortars, the following methods can be used:

- an increase in the specific surface area of cement, which can be provided either by additional grinding of cement or by the addition of highly dispersed substances;
- reducing the amount of free water in the solution, for example, by reducing W/C;
- increasing the viscosity of the liquid phase in cement mortar by adding high-molecular polymers;
- introduction of special additives that bind the free mixing water.

To reduce the amount of free water in solution possible to use materials with high dispersion that bind water due to its developed surface. It is necessary to understand that such a technological solution leads to additional thickening of the cementing slurry and deterioration of its pumpability. Increasing the specific surface of the grouting cement also reduces the water loss of the solution according to the

specified mechanism. If you use the thickening of the liquid phase high molecular weight additives for lowering the filtering will be a reduction in the mobility of the cement slurry. In addition, there is a slowdown in the process of the cement stone hardening and obtaining the necessary strength.

Thus, both variants require the use of special plasticizers to preserve the mobility of the solution. Increasing the water-cement ratio to preserve the mobility of solutions will again increase the filtration rate, as well as worsen the final properties of the resulting cement stone.

Another measure to reduce the amount of filtrate solution is to reduce repression. First of all, low repression have lightweight cementing slurries, which are currently obtained mainly due to the use of a large amount of liquid closure. It is possible to use promising facilitating additives in conjunction with a low water-cement ratio due to their developed surface and low bulk density, as is typical for a lightweight mineral additive.

The use of high molecular weight polymers as filter reducing agents is just beginning to be investigated. According to the effect, they are characterized as clogging materials that create strong bonds between the cement particles and strengthen the colloidal structure of the cement. The use of polymers also increases the resistance of the filter cake on the wall of the well due to adsorption, thereby reducing the flow of filtrate into the reservoir. In addition, when using high-molecular polymers, the initial filtration rate decreases, but the filtration crust is poorly clogged.

## **6 Important properties of cementing slurry and cement stone**

In cementing operations and applications, several properties are needed for proper use, which are given in brief in the following sections.

Specific weight is one of the most important properties of a cement slurry. The specific weight of a certain dry cement regulates the minimum or maximum amount of water that can be added. The minimum amount of water for proper density selection is

greater than the stoichiometric quantity necessary for proper adjustment. If more than the maximum amount of water is used, pockets of free water will be formed in the set cement column. Typical amounts of water range from 38–46% in the final mixture.

The thickening time covers the time over which the cement can be achieved by mixing with water. It is similar to pot lifetime in thermoset resins. Viscosity increases with time after this point, because of the setting reaction. When the viscosity becomes too great, the slurry is no longer pumpable. It is, therefore, necessary to place the cement within a certain time after mixing, otherwise, serious damage to the well could occur. An accurate knowledge of the time needed for the operation is necessary, taking the following factors into consideration:

- Mixing time,
- Displacing time (to bring down),
- Plug release time, and
- Safety time.

In general, the thickening time decreases with increasing temperature, hence it is important that the temperature conditions in the well are known.

The strength of cement usually refers to its compressive strength. In general, the rate of setting increases with increasing temperature and pressure. Cement stone takes part of the loads falling on the column, as well as directly unloading the casing, so the increase in mechanical strength will increase the bearing capacity of the casing. For this reason, when developing formulations of grouting solutions, it is necessary to achieve the maximum strength obtained from them, so that at large pressure drops and under the action of the load, the casing is practically not deformed. Under the loads on the cement stone refers to the mountain pressure and hydrostatic pressure of the liquid column, the internal overpressure in the casing, shock loads arising during the lifting operations, as well as hydraulic fracturing, activities during the testing and development of wells.

The spreadability index of the cementing slurry reflects its mobility and ability to be pumped in borehole conditions. Until the solution is pumped into the cementing interval, it must remain easily movable.



