

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: 21.03.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы: Отделение нефтегазового дела

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ</b>

УДК 622.276.66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-Б73Т	Кульбака Анастасия Викторовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Пулькина Наталья Эдуардовна			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Елена Игоревна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.Т.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Максимова Юлия Анатольевна			

Томск – 2021 г.

## Планируемые результаты обучения

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОК(У)-1, ОК(У)-2, ОК(У)-4, ОК(У)-6, ОК(У)-7, ОК(У)-8, ОПК(У)-1, ОПК(У)-2)</i>
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ ОК(У)-3, ОК(У)-5, ОК(У)-9, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6)</i>
P3	Осуществлять и корректировать технологические процессы при эксплуатации и обслуживании оборудования нефтегазовых объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-1, ПК(У)-2, ПК(У)-3, ПК(У)-6, ПК(У)-7, ПК(У)-8, ПК(У)-10, ПК(У)-11)</i>
P4	Выполнять работы по контролю промышленной безопасности при проведении технологических процессов нефтегазового производства и применять принципы рационального использования природных ресурсов, а также защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, (ПК(У)-4, ПК(У)-5, ПК(У)-9, ПК(У)-12, ПК(У)-13, ПК(У)-14, ПК(У)-15)</i>
P5	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ПК(У)-23, ПК(У)-24)</i>
P6	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации в области нефтегазового дела	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ ОК(У)-4, ОПК(У)-3, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-25, ПК(У)-26)</i>
P7	Работать эффективно в качестве члена и руководителя команды, формировать задания и оперативные планы, распределять обязанности членов команды, нести ответственность за результаты работы при разработке и эксплуатации месторождений	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ПК(У)-9, ПК(У)-14), требования профессионального стандарта 19.021 Специалист по промысловой геологии</i>
P8	Управлять технологическими процессами, обслуживать оборудование, использовать любой имеющийся арсенал технических средств, обеспечивать высокую эффективность при разработке и реализации проектов нефтегазовых объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-9, ПК(У)-11), требования профессионального стандарта 19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата</i>
P9	Повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности на опасных производственных объектах, соблюдать правила охраны труда и промышленной безопасности, выполнять требования по защите окружающей среды	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-6, ОПК(У)-7, ПК(У)-4, ПК(У)-7, ПК(У)-13), требования профессионального стандарта 19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата, 19.021 Специалист по промысловой геологии.</i>

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: 21.03.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы: Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Ю. А. Максимова  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Б73Т	Кульбака Анастасия Викторовна

Тема работы:

<b>Комплексный подход к выбору технологии гидравлического разрыва пласта на нефтяных месторождениях</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№110-31/с от 20.04.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Тексты и графические материалы отчетов и исследовательских работ, фондовая и научная литература, технологические регламенты, нормативные документы.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Проведение гидроразрыва пласта. Классификация жидкостей для гидравлического разрыва пласта по назначению. Новые технологии проведения гидравлического разрыва пласта. Виды расклинивающих материалов. Новые разработки в области проппантов. Промышленный опыт применения проппантов на нефтяных месторождениях.

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП ТПУ, к.э.н, Клемашева Елена Игоревна
Социальная ответственность	Профессор ТПУ, д.т.н., Федорчук Юрий Митрофанович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:</b>	
Технология гидроразрыва пласта	
Виды расклинивающих материалов	
Промышленный опыт применения проппантов на нефтяных месторождениях	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	21.04.2021
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Пулькина Наталья Эдуардовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Б73Т	Кульбака Анастасия Викторовна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 104 страниц, 30 рисунков, 25 таблиц, 40 источников.

Ключевые слова: месторождение, скважина, расклинивающий материал, проппант, гидравлический разрыв пласта, технологии гидравлического разрыва пласта, жидкости ГРП.

Объектом исследования являются расклинивающие материалы, применяемые при проведении гидравлического разрыва пласта.

Целью данной выпускной квалификационной работы является изучение технологий проведения ГРП, видов расклинивающих материалов и промышленного опыта применения расклинивающих материалов.

В процессе исследования были рассмотрены новые технологии проведения ГРП, виды расклинивающих материалов и новые разработки в этой области. Выполнен расчет необходимого количества проппантов для проведения ГРП на скважине номер 872 Рыбального месторождения.

Область применения: добывающие и нагнетательные скважины месторождений нефти и газа.

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ**

**ГРП** – гидравлический разрыв пласта;

**МГРП** – многостадийный гидравлический разрыв пласта

**МУН** – методы увеличения нефтеотдачи

**НПУ** – нефтеперерабатывающая установка

**НКТ** – насосно-компрессорные трубы

**ГНКТ** – гибкая непрерывная насосно-компрессорная труба

**АНИ** – Американский нефтяной институт

**ВНК** – водонефтяной контакт

**СПО** – спуско-подъемные операции

**КМЦ** – карбоксиметилцеллюлоза

**ПАВ** – поверхностно-активные вещества

**ПАА** – полиакриламид

**МФП** – модификаторы фазовой проницаемости

**ЧС** – чрезвычайная ситуация

## Оглавление

1 ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА .....	11
1.1 Проведение гидроразрыва пласта .....	11
1.2 Расклинивающий агент .....	14
1.3 Классификация жидкостей для ГРП по назначению .....	18
1.4 Виды гидроразрыва пласта .....	20
1.5 Новые технологии проведения ГРП .....	21
1.5.1 Промышленный опыт проведения новой технологии МГРП .....	24
2 ВИДЫ РАСКЛИНИВАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....	26
2.1 Новые разработки в области проппантов.....	42
2.1.1 Сверхпрочный проппант .....	42
2.1.2 Проппанты различной формы .....	44
2.1.3 Самосуспендирующийся проппант.....	48
2.1.4 Пористый проппант с ингибитором солеотложений .....	51
2.1.5 Проппант с модификатором относительной проницаемости .....	53
3 ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОППАНТОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ.....	57
3.1 Расчет необходимого количества проппанта для проведения ГРП на Рыбальном месторождении.....	57
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	59
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	59
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	59
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	59
4.1.3 SWOT-анализ.....	60
4.2 Структура работ в рамках научного исследования .....	62
4.2.1 Структура научно-исследовательских работ .....	62

4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	62
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	63
5.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	66
4.3.1	Расчет затрат на оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	66
4.3.2	Основная заработная плата исполнителей .....	67
4.3.3	Расчет накладных расходов .....	69
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	70
4.4.1	Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и финансовой эффективности проводимого исследования.....	70
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	77
5.1	Производственная безопасность .....	77
5.1.1	Анализ выявленных вредных факторов .....	77
5.1.1.1	Отклонение показателей микроклимата в помещении .....	77
5.1.1.2	Превышение уровней шума .....	79
5.1.1.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений .....	80
5.1.2	Анализ выявленных опасных факторов .....	81
5.1.2.1	Поражение электрическим током .....	81
5.1.2.2	Освещение на рабочем месте.....	83
5.1.2.3	Пожарная опасность .....	87
5.2.1	Экологическая безопасность .....	89
5.3.1	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	93
	Заключение .....	95
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	96



## Введение

С каждым годом возрастает доля трудноизвлекаемых запасов с низкими дебитами скважин, это связано с истощением запасов высокопродуктивных залежей и ухудшением их структуры.

При этом успешность геолого-технических мероприятий со временем, как правило, снижается, что представляет собой достаточно сложную проблему, решение которой не всегда является очевидным.

К основным методам повышения нефтеотдачи пластов относятся:

- физико-химические методы воздействия;
- тепловые методы;
- забуривание боковых горизонтальных стволов в вертикальных скважинах;
- гидравлический разрыв пласта (ГРП).

При разработке низкопроницаемых коллекторов все чаще применяют гидравлический разрыв пласта. В результате ГРП при правильном выборе скважин и технологии можно существенно увеличить дебиты нефти обработанных скважин. Гидравлический разрыв пласта в настоящее время является наиболее эффективным способом интенсификации добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов.

В зарубежной практике этот метод получил широкое применение, причем более 65 % скважин подвергают ГРП на стадии ввода их в эксплуатацию.

Ключевой момент в процессе ГРП – создание трещины в породе при помощи закачки жидкости разрыва. Однако не менее важным является закрепление трещины расклинивающим материалом или проппантом для предотвращения ее смыкания, поскольку от качества закрепления трещины непосредственно зависит потенциальный дебит скважины.

Традиционно в качестве расклинивающих материалов используются природные кварцевые пески и более прочные синтетические керамические

проппанты. Также широко применяются смолопокрытые проппанты для предотвращения снижения проводимости и выноса проппанта из трещины, а также облегченные проппанты для более эффективного размещения расклинивающего материала в трещине. В дополнение к ним специалистами нефтегазовой промышленности было разработано большое количество проппантов с различными свойствами, формами, размерами и областями применения.

Целью данной выпускной квалификационной работы является изучение технологий проведения ГРП, видов расклинивающих материалов и промышленного опыта применения расклинивающих материалов.

Задачи работы:

1) Рассмотреть технологию проведения ГРП, а также новые технологии проведения ГРП.

2) Изучить виды расклинивающих материалов и новые разработки в этой области.

3) Проанализировать эффективность применения проппантов на нефтяных месторождениях и рассчитать необходимое количество проппантов для проведения ГРП на скважине номер 872 Рыбального месторождения.

## **1 ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА**

Гидравлический разрыв пласта – это физико-гидродинамический процесс, при котором горная порода разрывается по плоскостям минимальной прочности за счет воздействия на пласт давлением, создаваемым закачкой в скважину специальной жидкости разрыва. В образованные трещины с помощью жидкости - песконосителя транспортируется расклинивающий материал – проппант, который после снятия избыточного давления закрепляет трещины в раскрытом состоянии. После разрыва пласта давление флюида увеличивает размеры трещины, обеспечивая ее связь с системой естественных природных трещин, не вскрытых скважиной, а также с зонами повышенной проницаемости [1].

Метод ГРП имеет множество технологических решений, обусловленных особенностями конкретного объекта обработки (нефтяная, газовая или нагнетательная скважина) и достигаемой целью.

Технологии ГРП различаются:

- объемами закачки,
- технологическими жидкостями,
- расклинивающими материалами,
- размерами трещин.

При локальном ГРП длина образуемых трещин 10 – 20 м, при ГРП с образованием протяженных трещин оптимальная длина закрепленной трещины обычно составляет 40 – 60 м; при глубокопроникающем гидроразрыве 80 – 120 м, а при массивованном ГРП – 1000 м и более.

### **1.1 Проведение гидроразрыва пласта**

Для проведения гидравлического разрыва пласта составляется план, который утверждается главным инженером и главным геологом НПУ. Согласно этому плану необходимо:

- 1) подготовить скважину;
- 2) выбрать рабочие жидкости и песок;
- 3) определить расчетные показатели процесса гидроразрыва;
- 4) выбрать технологическую схему для проведения гидроразрыва и необходимые агрегаты;
- 5) освоить и исследовать скважину после гидроразрыва.

Общая схема обвязки и расположения у скважины оборудования для гидроразрыва приведена на рисунке 4.

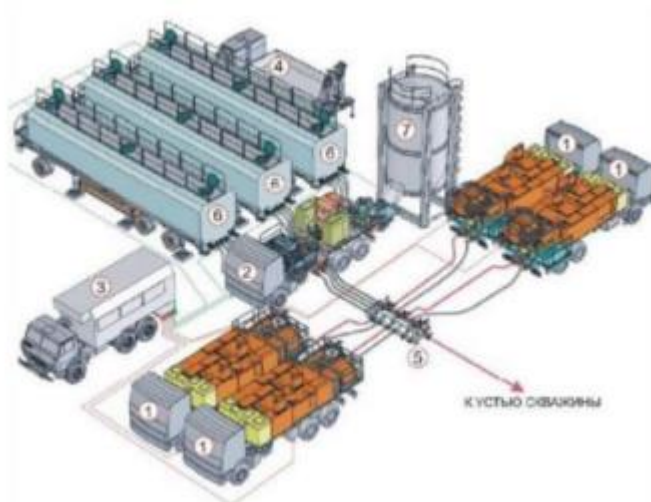


Рисунок 4 – Обвязка оборудования при гидравлическом разрыве пласта:  
 1— насосный агрегат; 2 – пескосмесительный агрегат; 3— станция контроля и управления процессом; 4 — машина манифольдов; 5 — блок манифольдов; 6 — емкости гелевые; 7— бункер для проппанта [2]

Порядок работ при гидравлическом разрыве пласта:

1) В подготовленной и оборудованной скважине производят гидропескоструйную перфорацию или СКО (если это предусмотрено планом работ); освобождают пакер, вымывают шариковый клапан гидропескоструйной насадки; производят вторичную посадку пакера.

2) В трубы закачивают нефть (при обработке нефтяной скважины) или воду (при обработке нагнетательной скважины) и создают максимально возможное давление. По отсутствию перелива жидкости через затрубное пространство судят о герметичности пакера.

3) При максимальном числе подключенных насосных агрегатов в скважину закачивают жидкость разрыва со скоростью, превышающей скорость ее поглощения пластом. Давление жидкости возрастает, пока не будут превзойдены внутренние напряжения в породе. В породе образуется трещина. О разрыве пласта судят по резкому увеличению приемистости (поглотительной способности) скважины.

4) Как только развитие трещины началось, в жидкость добавляется расклинивающий материал - проппант или песок, переносимый жидкостью в трещину. После завершения процесса гидроразрыва и сброса давления проппант удерживает трещину открытой и, следовательно, проницаемой для пластовых жидкостей. Последняя порция проппанта в количестве 100—150 кг должна содержать радиоактивные вещества, чтобы в дальнейшем можно было при помощи гамма-каротажа проверить зоны поглощения расклинивающего материала.

5) Прокачивают в скважину продавочную жидкость при максимальных давлениях, обеспечивающих раскрытие трещин и введение в них расклинивающего материала.

б) Прежде чем начать добычу из скважины, удалить жидкость разрыва и извлечь остаток расклинивающего материала с забоя (если он там имеется).

На этом операции по гидравлическому разрыву пласта заканчиваются: скважину сдают в эксплуатацию.

В неглубоких скважинах разрыв пласта обычно проводят без спуска НКТ или с трубами, но без пакера.

Существуют различные технологические схемы гидроразрыва:

– однократный гидроразрыв пласта (воздействию закачиваемой жидкости гидроразрыва подвергаются все пласты или пропластки, эксплуатируемые скважиной);

– многократный гидроразрыв пласта (последовательно гидроразрыву подвергается два или более пластов, или пропластков, вскрытых скважиной);

– поинтервальный (направленный) гидроразрыв пласта (гидроразрыву подвергается один заранее определенный пласт или пропласток).

В скважинах, имеющих фильтровую зону большой мощности или вскрывших несколько продуктивных пропластков, проводят многократные гидравлические разрывы.

## **1.2 Расклинивающий агент**

Для поддержания трещины в раскрытом состоянии в течение длительного срока эксплуатации необходимо ее заполнение специальным агентом – проппантом. В качестве закрепляющих трещину материалов могут использоваться природные пески или синтетические материалы.

К основным свойствам проппантов относятся:

- 1) прочность
- 2) плотность
- 3) геометрическая форма
- 4) твердость
- 5) размеры частиц
- 6) качество материала
- 7) тип поверхности гранул

Прочность или сопротивляемость разрушению – основное свойство проппанта. От прочности гранул проппанта непосредственно зависит проницаемость трещины. В течение эксплуатации скважины данное свойство меняется, в то время как циклическое нагружение упаковки проппанта приводит к ухудшению свойств проппанта. С увеличением размера гранулы проппанта средняя прочность уменьшается. В свою очередь, увеличение количества слоев проппанта при значительной раскрытости трещины приводит к увеличению прочности упаковки. Затраты на более прочный материал могут компенсироваться дополнительным притоком нефти за счет лучших свойств упаковки проппанта.

Плотность гранул проппанта влияет на процесс транспорта по скважине и по трещине, на эффективность ее заполнения. Для проппанта высокой плотности существуют две стратегии закачки: использование высоковязких жидкостей и использование жидкостей при больших расходах. Также возможно использование облегченных проппантов, но оно ограничивается их прочностью.

Геометрическая форма гранул проппанта определяется сферичностью и округлостью. Сферичность – показатель приближения формы частицы к сфере, который определяется как соотношение взаимно перпендикулярных диаметров. Округлость (или окатанность) – показатель кривизны поверхности частицы. Сферичность и округлость гранул проппанта определяются визуально путем сравнения со шкалой Крумбейна-Шлосса, которая представлена на рисунке 5.

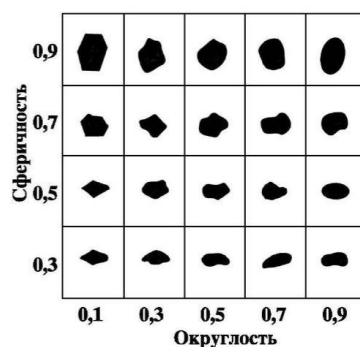


Рисунок 5 – Шкала Крумбейна-Шлосса для определения сферичности и округлости гранул проппанта [1]

Сферичность и округлость влияют на способность проппанта выдерживать напряжение сжатия при смыкании трещины после завершения гидроразрыва (чем меньше оба показателя, тем больше гранул разрушится). Также снижение сферичности и округлости приводит к уменьшению пропускной способности и росту фильтрационных сопротивлений.

Песок имеет в большинстве разнообразную форму – редко целиком круглую и гладкую, чаще яйцеподобную, а чаще всего плоскую или треугольную. После нагромождения таких частичек пористость может временами даже возрастать, но такие нагромождения не могут выдерживать больших напряжений и легко разрушаются во время смыкания трещины.

Керамические пропанты имеют преимущественно круглую и сферическую форму, препятствующую разрушению и созданию пустот между зернами, то есть увеличению пористости [3].

Твердость – побочное свойство пропанта, которое вызывает следующие негативные последствия:

- пропант вдавливаются в поверхность стенок трещины, что приводит к уменьшению пропускной способности трещины;
- преждевременный износ перфорационных отверстий и насосного оборудования.

Размеры гранул пропанта определяются с помощью ситового анализа. Номер сита по американскому стандарту соответствует числу отверстий, приходящихся на один линейный дюйм (2,54 см). Размеры сит по стандарту АНИ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие между номерами сит и размерами ячеек [1]

Размер ячейки (меш)	Размер ячейки, мм	Номер сита (меш)	Размер ячейки, мм
6	3,36	30	0,595
8	2,38	40	0,420
12	1,68	50	0,297
16	1,19	70	0,210
20	0,841	140	0,105

Фракции пропанта имеют следующую градацию в меш, объединяющую в один стандартный размер сита нескольких размеров:

- 12/20 (0,841–1,68 мм);
- 16/30 (0,595–1,19 мм);
- 20/40 (0,420–0,841 мм);
- 30/50 (0,297–0,595 мм);
- 40/70 (0,210–0,420 мм).

По стандарту АНИ не менее 90% пробы расклинивающего материала должно быть в пределах размеров, указанных для данной марки, и не более 0,1% превышать наибольший размер [1].



В РФ придерживаются международного стандарта ISO 13503—2:2006 [4], Американского АНИ API-56 [5] и Российских стандартов ГОСТ Р 54571 — 2011 [6] и ГОСТ Р 51761-2013 [7]. ГОСТ Р 54571 —2011 распространяется на магнезиально-кварцевые проппанты, которые предназначены для использования при добыче нефти методом гидравлического разрыва пласта. ГОСТ Р 51761-2013 распространяется на алюмосиликатные проппанты (гранулированные порошки) высокой прочности. Российские производители проппанта придерживаются этих стандартов.

Согласно ГОСТ Р 54571 —2011 и ГОСТ Р 51761-2013, проппанты в зависимости от размера гранул основной фракции подразделяют на фракции:

- 10/14 (1,4-2,0 мм);
- 12/18 (1,0-1,7 мм);
- 16/20 (0,85-1,18 мм);
- 16/30 (0,6-1,18 мм);
- 20/40 (0,425-0,85 мм);
- 30/50 (0,3-0,6 мм);
- 40/70 (0,212-0,425 мм).

Увеличение размера гранул приводит к увеличению проницаемости упаковки проппанта. Так, упаковки крупного проппанта могут иметь проницаемость несколько сотен миллидарси. Для того, чтобы не образовывались перемычки из нескольких гранул проппанта, канал, по которому двигается смесь жидкости и проппанта, должен быть в 3-7 раз шире отдельной гранулы. Также важно отметить, что диаметр гранул проппанта очень сильно влияет на скорость его осаждения в жидкости. Кроме того, в плохо цементированных хрупких коллекторах упаковка крупного проппанта может забиваться механическими примесями, при этом проницаемость упаковки снижается. В этих условиях рекомендуется использовать проппант мелкой фракции.

Качество материала зависит от степени загрязнения проппанта различными примесями и растворимости в кислотах. Наличие в составе

материала проппанта большого количества примесей может приводить к снижению прочности и, следовательно, проницаемости упаковки проппанта. В свою очередь, при повышенной растворимости проппанта в кислоте при последующей эксплуатации значительно снижается прочность проппанта и проницаемость его упаковки.

Поверхность гранул проппанта может быть гладкой либо шероховатой. Тип поверхности влияет на:

- проницаемость упаковки;
- фильтрационные сопротивления;
- способность поверхности проппанта к диагенезу.

Используются проппанты, на поверхность которых нанесены специальные вещества, регулирующие фильные/фобные свойства поверхности. Также возможно покрытие гранул проппанта ингибиторами солеотложений, парафиноотложений.

### **1.3 Классификация жидкостей для ГРП по назначению**

Для создания трещин в породе пласта под высоким давлением закачивается жидкость. По своему назначению жидкости для ГРП различают:

- жидкость разрыва, которую нагнетают в призабойную зону пласта для образования новых трещин или расширением уже существующих;
- жидкость-песконоситель транспортирует песок с поверхности до трещины и заполняет ее проппантом. Жидкость-песконоситель характеризуется низкой фильтруемостью для предупреждения оседания песка в трубах, цилиндрах насоса, элементах обвязки, на забое скважины, а также для преждевременной потери подвижности в трещине, что может привести к серьезным осложнениям;
- продавочную жидкость, которая применяется для задавки из насосно-компрессорных труб в обрабатываемый пласт, в полученную трещину жидкости разрыва и жидкости-песконосителя.

Данные жидкости последовательно закачиваются в пласт.

В добывающих скважинах в качестве жидкостей-песконосителей используются вязкие жидкости или нефти, гидрофобные водонефтяные эмульсии, нефтемазутные смеси, соляную кислоту (HCl) с применением загустителя и др.

В качестве жидкостей-песконосителей в нагнетательных скважинах используются крахмально-щелочные растворы, HCl с применением загустителя, растворы сульфит-спиртовой барды, гидрофильные нефтеводяные эмульсии, нейтрализованный черный контакт и др.

В нагнетательных скважинах в качестве продавочной жидкости применяют при разрыве водоносного пласта нагнетаемую воду.

Сырая дегазированная нефть обрабатываемого пласта или легкая нефть другого пласта этого же месторождения используются в добывающих скважинах в качестве продавочной жидкости.

Требования к жидкостям ГРП:

- 1) не высокая стоимость;
- 2) доступность;
- 3) хорошая пескоудерживающая способность;
- 4) не влияют на проницаемость породы пласта;
- 5) минимальные потери на трение при закачке с высокими расходами;
- 6) инертен к глинистым минералам пласта;
- 7) вещества, входящие в состав жидкости или геля, не должны отрицательно влиять на состояние пласта.
- 8) не содержат посторонних механических примесей;
- 9) не образуют нерастворимых осадков при соприкосновении с жидкостями и породой пласта;
- 10) стабильность свойств при высокой температуре заданное время;
- 11) легко разлагаются и теряют вязкость после остановки закачки;
- 12) из пласта удаляются максимально полно [2].

## 1.4 Виды гидроразрыва пласта

Стандартный ГРП представляет собой нагнетание в пласт геля с увеличивающимся во времени расходом до разрыва пласта, развитие трещины при постоянном режиме нагнетания геля (2–5 м<sup>3</sup> /мин), заполнение трещины проппантом при повышении его концентрации в геле (до 1500 кг/м<sup>3</sup>) общей массой до 50 т. Область применения: продуктивные пласты толщиной менее 15 м, проницаемостью более 0,04 мкм<sup>2</sup>, малой расчлененностью с экранами большой (более 10 м) толщины, фронт вытеснения не ближе половины расстояния между скважинами. Кроме стандартного ГРП существуют следующие разновидности:

- объемные ГРП представляют собой нагнетание в пласт геля с проппантом с общей массой 50-100т., продуктивные пласты толщиной до 20 м;

- кислотный ГРП – гидроразрыв, при котором в качестве жидкости разрыва используется кислота, что применяется в случае карбонатных пластов. Созданная с помощью кислоты и высокого давления сеть трещин и каверн не требует закрепления проппантом.

- пенный ГРП – как и обычный, направлен на создание трещины в пласте, высокая проводимость которой обеспечивает приток углеводородов к скважине. Однако при пенном ГРП за счет замены (в среднем 60 % объема) части гелированного водного раствора на сжатый газ (азот или углекислый газ) значительно возрастают проницаемость и проводимость трещин, и, как следствие, степень повреждения пласта минимальна.

- гибридный ГРП – технология проведения ГРП, которая подразумевает использование комбинаций технологических жидкостей с различными свойствами для обеспечения наибольшей эффективности закачки.

Наиболее распространенной жидкостью для ГРП при добыче сланцевого газа является «скользящая вода» (slickwater), где почти 99,5% составляют вода и песок, а остальное – ряд химических добавок, понижающих трение.

В 2017 году компания РуссНефть сообщила, что в ходе испытаний баженовской свиты получила дебит около 100 т/сутки на Средне-Шапшинском месторождении. При испытании скважины был выполнен «гибридный» гидроразрыв пласта (ГРП) с использованием технологии slickwater, в результате которого был получен устойчивый фонтанирующий приток нефти [8].

В данном случае на начальной стадии использовалась обычная пластовая вода с понизителем трения, затем с целью наиболее эффективного закрепления трещин применялись вязкие гелирующие системы.

– селективный ГРП позволяющий вовлечь в разработку и повысить продуктивность низкопроницаемых слоев.

– импульсный гидроразрыв – позволяет создавать в скважине несколько радиально расходящихся от ствола трещин, что может эффективно использоваться для преодоления скин-эффекта в призабойной зоне, особенно в средне- и высокопроницаемых пластах.

– повторный ГРП.

### **1.5 Новые технологии проведения ГРП**

С конца 90-х – начала 2000-х годов зарубежными и отечественными компаниями ведется активная работа по поиску и внедрению новых технологий ГРП, позволяющих снизить риск высокой обводненности и потери добычи нефти после операций. Можно выделить три направления технологических решений в данной области:

1) Ограничение увеличения высоты трещины за счет снижения в ней эффективного давления (главным образом за счет уменьшения вязкости жидкости разрыва): применение линейных гелей, специальных составов ClearFRAC и FiberFRAC (компании Schlumberger);

2) ограничение увеличения высоты трещины за счет создания механических барьеров: предварительной закачки цементных или глинистых

растворов, создание барьеров специальными проппантными пачками (многостадийные ГРП, BracketFRAQ J-FRAC);

3) установка химических барьеров: закачка реагентов на основе ПАА, снижающих относительную фазовую проницаемость для воды, так называемых модификаторов фазовой проницаемости (МФП).

Первые два направления используются в условиях тонких глинистых перемычек, отделяющих нефтенасыщенные интервалы от водо- или газонасыщенных прослоев, для низкообводненных объектов (за исключением глинистых композиций), третье направление в условиях водонефтяного контакта (ВНК) и в высокообводненных скважинах.

Так как метод ГРП стал очень популярен за последние десятилетия, сервисные компании разрабатывают и внедряют новые технологии проведения ГРП, чтобы увеличить выработку подземных запасов и рентабельность их эксплуатации [2].

Сервисная компания TRICAN Well Service опубликовала основные современные технологии ГРП, по которым ведутся работы по всему миру:

- 1) ГРП в горизонтальных скважинах;
- 2) кислотный ГРП;
- 3) ГРП на основе углеводородов (без фосфора);
- 4) ГРП с использованием жидкого CO<sub>2</sub>;
- 5) ГРП пеной с содержанием азота и CO<sub>2</sub>;
- 6) ГРП с использованием технологии колтюбинга (ГНКТ);
- 7) Многоступенчатый (мультистадийный) ГРП

Одним из самых эффективных методов разработки месторождений является бурение горизонтальных скважин с применением многоступенчатого или мультистадийного гидроразрыва пласта (МГРП или МСГРП). Он применяется на месторождениях со сложным геологическим строением, ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами, а также наличием подошвенной воды. На сегодняшний день многостадийный гидроразрыв пласта – одна из самых передовых технологий в нефтяной отрасли.

Сервисная компания Halliburton представила ряд новых технологий по улучшению эксплуатации данным способом:

- 1) технология отклонения потока кислоты BioVert NWB;
- 2) технология жидкости для ГПП CleanStim;
- 3) проппант MonoProp.

Компания PackersPlus предложила ряд уникальных разработок:

1) технология QuickFRAC (технология QuickFRAC позволяет операторам увеличить количество раскрытых трещин с помощью одной обработки);

2) технология StackFRAC HD (технология предназначена для стимуляции открытых и обсаженных скважин в нетрадиционных плотных нефтегазовых пластах. Эта инновационная, проверенная в полевых условиях система позволяет точно разместить стимуляционные процедуры в одной непрерывной насосной операции);

- 3) технология RapidMATRIX.

Специалисты EWS Holding AG разработали ряд технологий для системы селективного гидроразрыва пластов при помощи технологии гибкой трубы (ГНКТ), нацеленных на повышение эффективности и снижение затрат:

1) система Mangust (Система Mangust, используется для проведения ГРП в нескольких интервалах за одну спускоподъемную операцию ГНКТ. Система представляет собой сборку внутрискважинного инструмента, позволяющего проводить операции, как в вертикальных скважинах, так и в горизонтальных, - в эксплуатационных колоннах без специальной оснастки.);

2) мультстадийная система Multistage Unlimited System (Система ГРП и разобщения интервалов Multistage Unlimited обеспечивает беспрецедентную свободу при проведении многоступенчатых заканчиваний скважин;

Известная компания Schlumberger также представила ряд усовершенствованных технологий, относящихся к МГРП:

1) система StageFRAC (StageFRAC - технология многоступенчатого ГРП. Технология закачивания скважин для последующего выполнения многоступенчатого ГРП);

2) система VDA (VDA - технология выравнивания профиля закачки при проведении соляно-кислотной обработки) [2].

### **1.5.1 Промышленный опыт проведения новой технологии МГРП**

В июне 2018 года впервые в России для закачки многотоннажных ГРП применили технологию многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) по малому затрубному пространству между гибкой насосно-компрессорной трубой (ГНКТ) и НКТ в скважинах, где использованы хвостовики с управляемыми портами ГРП (далее – МГРП с ГНКТ), первые работы выполнены на Кондинском месторождении. При использовании данной технологии операции по проведению ГРП проводятся без подъема ГНКТ на поверхность, что позволяет значительно сократить операционное время на скважине. На сегодняшний день уже завершены работы на пяти скважинах по данной технологии с проведением ГРП тоннажем 70–100 тонн на порт.

Технология заканчивания МГРП «Premium Port + Jackal» позволяет оптимизировать процесс ГРП с использованием полнопроходных сдвижных муфт и включает в себя:

- многоразовую муфту ГРП (полнопроходная, с возможностью цементированья, позволяет проводить повторные открытия неограниченное число раз);

- заколонные пакеры, активируемые давлением, предназначены для изоляции заколонного пространства между муфтами ГРП;

- ключ-толкатель Hartier (предназначен для манипуляции муфтами ГРП и использования с ГНКТ/НКТ);

- дополнительно механический пакер (опционально, применяется в случае невозможности закрыть один из портов). Рассчитан для многоразового



использования, активируется осевым перемещением ГНКТ в любом месте хвостовика, рассчитан на дифференциальное давление 680 атм. (10 000 psi).

На Кондинском месторождении была успешно внедрена новая система заканчивания МГРП Premium Ports + Jackal на пяти многостадийных скважинах. Было использовано от 8 до 10 портов ГРП на каждой скважине, что соответствует 46 успешно проведенным операциям ГРП на протяжении всех работ. Во время данных работ всего было закачено 3434 т проппанта. Число стадий/портов без смены инструмента – 10 штук. Масса проппанта без смены инструмента – 840 тонн. Количествово СТОП отмыто без дополнительного СПО – 1 стадия/порт. Максимальное количество многотоннажных ГРП в сутки на территории РФ – 3 стадии.

Сняты все опасения по несовместимости данной технологии с многотоннажными ГРП. По результатам работ сделали вывод, что существует большой потенциал для применения данного типа операций в ближайшем будущем как в России, так и за рубежом [9].

## 2 ВИДЫ РАСКЛИНИВАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Со времени проведения первой операции гидроразрыва пласта в 1947 году в качестве проппантов использовались самые различные материалы, включая ореховую скорлупу, природный кварцевый песок, стеклянные шарики, смолопокрытый песок, спеченные бокситовые и каолиновые руды. Несмотря на большое разнообразие расклинивающих агентов, чаще всего при проведении гидравлического разрыва пласта используются кварцевый песок и керамический проппант [10].

Для оценки качества большого разнообразия проппантов, Американским нефтяным институтом разработаны стандартные методики определения свойств этих материалов: API RP60 [11], RP61 [12] для проппантов и API RP56, API RP 58 [13] для песка. Российские стандарты ГОСТ Р 54571-2011 (пропанты алюмосиликатные) и ГОСТ Р 51761-2013 (пропанты магнезиально-кварцевые), разработаны с учетом основных нормативных положений международного стандарта ISO 13503-2:2006. В России придерживаются как Американских стандартов API RP 60-95 «Рекомендуемые методы испытаний проппантов высокой прочности, используемых при гидравлическом разрыве пласта», так и ГОСТ Р 54571-2011 и ГОСТ Р 51761-2013.

Виды расклинивающих материалов:

### 1) Кварцевый песок.

С середины прошлого века кварцевый песок остается наиболее распространенным материалом для закрепления трещин. Месторождения кварцевого песка можно найти во многих странах мира, что обуславливает высокую доступность и низкую стоимость данного материала. Кроме того, песок имеет сравнительно небольшую себестоимость производства на его основе высококачественных расклинивающих материалов. Обработка гранул песка, например, покрытие термостойкими смолами, позволяет обеспечить высокую проводимость трещины в широком диапазоне пластовых условий.

Плотность кварцевого песка в среднем равна  $2,65 \text{ г/см}^3$ . Данный материал обычно применяется при ГРП, напряжение сжатия которых составляет не более 41 МПа, а глубина залегания не превышает 2500 м.

Песок, применяемый для ГРП должен иметь высокую механическую прочность и сохранять высокую проницаемость.

Этим требованиям удовлетворяет крупнозернистый, хорошо окатанный и однородный по составу кварцевый песок. Окатанность зерен песка способствует лучшему его проникновению вглубь трещин.

Специалисты Американского нефтяного института (АНИ) разработали технические требования и методы испытаний кварцевого песка для гидроразрыва пласта RP-56, где установлены основные показатели качества песка (гранулометрический состав, округлость и сферичность зерен, растворимость в глинокислоте, содержание солей и глин, прочность при одноосном сжатии) и определены допустимые диапазоны значений этих показателей.

Анализ промыслового опыта США показывает, что при ГРП использование песка фракции 20/40 (размер зерен от 0,425 до 0,850 мм) составляет более 90% по объему. Нормы показателей качества АНИ для данной фракции песка следующие:

- массовое содержание основной фракции (0,425-0,850 мм) должно быть не менее 90%, при этом содержание зерен крупнее 1,2 мм не более 0,1%, мельче 0,3 – 1%;
- округлость и сферичность по Крумбейну и Шлоссу не менее 0,6;
- растворимость в глинокислоте не более 2%, по массе веществ, растворившихся из пробы [1].

Выделяют два основных типа кварцевого песка, а именно белый (или песок Оттава) и коричневый (или песок Брэди). Песок Оттава (рисунок 9, слева) представляет собой высококачественный песок белого цвета с монокристаллическими зернами и содержит более 99% диоксида кремния (кремнезема). Большая часть белого кварцевого песка добывается в северной

части Среднего Запада США: в штатах Иллинойс, Миннесота и Висконсин. Песок Оттава широко используется на сланцевых месторождениях Северной Америки. Песок Брэди (рисунок 9, справа) называется коричневым из-за своего темного цвета, что связано с присутствием примесей в его составе. Коричневый песок состоит как из поликристаллических, так и монокристаллических зерен кварца. Частицы данного песка имеют более угловатую форму, меньшую сферичность в сравнении с белым песком, могут растворяться в кислоте из-за присутствия в их составе полевого шпата. Тем не менее, песок типа Брэди считается материалом хорошего качества и часто добывается в непосредственной близости от нефтедобывающих регионов. Множество месторождений коричневого песка разрабатываются в США, Канаде и других странах. Сравнение песков Оттава и Брэди представлено в таблице 2 [14].



Рисунок 9 – Кварцевый песок типов Оттава (слева) и Брэди (справа) [14]

Таблица 2 – Основные характеристики кварцевых песков Оттава и Брэди [15]

Песок	Зерна кварца	Содержание SiO <sub>2</sub> , %	Округлость, д. ед.	Сферичность, д. ед.	Сопротивление раздавливанию для различных фракций, МПа		
					20/40	30/50	40/70
Оттава (белый)	Монокристаллические	99	≥ 0,7	≥ 0,7	41–55	48–62	55–76
Брэди (коричневый)	Поли- и монокристаллические	97–99	≥ 0,6	≥ 0,6	28–41	34–48	41–55

Так как в России применяется ГРП все чаще и чаще, многие отечественные компании тоже начали производить кварцевый песок различных фракций.

В РФ при производстве кварцевого песка придерживаются американского стандарта АНИ API RP-56 и международного стандарта ISO 13503-2:2006 (ГОСТ Р 54571 —2011).

В РФ производят магнезиально-кварцевые пропанты, согласно ГОСТ Р 54571 —2011.

По физико-химическим и физико-механическим показателям, гранулометрическому составу и форме пропанты должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 54571 —2011, приведенным в таблице 3[6].

Таблица 3– Характеристика магнезиально-кварцевых пропантов [6]

Наименование показателя	Норма для фракции						
	10/14	12/18	16/20	16/30	20/40	30/50	40/70
1. Массовая доля, %, не менее:							
MgO	8						
SiO <sub>2</sub>	50						
2. Гранулометрический состав, %, не более - массовая доля гранул:							
- оставшихся на сите номер:							
6	0,1	-	-	-	-	-	-
8	-	0,1	-	-	-	-	-
12	-	-	0,1	0,1	-	-	-
16	-	-	-	-	0,1	-	-
20	-	-	-	-	-	0,1	-
30	-	-	-	-	-	-	0,1
- прошедших через сито номер:							
20	1,0	-	-	-	-	-	-
30	-	1,0	-	-	-	-	-
40	-	-	1,0	1,0	-	-	-
50	-	-	-	-	1,0	-	-
70	-	-	-	-	-	1,0	-
100	-	-	-	-	-	-	1,0
3. Массовая доля гранул основной фракции, %, не менее	90,0						
4. Сферичность, условные единицы, не менее	0,7						
5. Округлость, условные единицы, не менее	0,7						
6. Растворимость в смеси кислот, %, не более	10,0						
7. Растворимость в соляной кислоте, %, не более	1,0						
8. Мутность, NTU, не более	250						
9. Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> , не более	1,75						

Продолжение таблицы 3

10. Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup> , не более	3,10						
11. Абсолютная (истинная) плотность, г/см <sup>3</sup> , не более	3,10						
12. Сопротивление раздавливанию, %, не более при давлении, МПа:							
34,5	20,0	15,0	15,0	10,0	5,0	-	-
51,7	25,0	20,0	20,0	15,0	7,0	5,0	-
68,9	-	25,0	25,0	20,0	10,0	10,0	8,0
13. Потеря массы при прокаливании, %, не более	4,0						
14. Эффективная удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, не более	370						
Примечания							
1. Сопротивление раздавливанию определяют при давлениях 34,5; 51,7 и 68,9 МПа, что соответствует давлению 5000; 7500 и 10000 фунт/дюйм							

2) Алумосиликатные пропанты по ГОСТ Р 51761-2013.

Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта ИСО 13503-2:2006. По физико-химическим и физико-механическим показателям, гранулометрическому составу и форме пропанты должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51761-2013, приведенным в таблице 4 [7].

Таблица 4 – Характеристика пропантов алумосиликатных [8]

Наименование показателя	Значение показателя для фракции							
	10/14	12/18	12/20	16/20	16/30	20/40	30/50	40/70
1. Массовая доля Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %, не менее	50							
2. Гранулометрический состав, %, не более - массовая доля гранул: оставшихся на сите номер:								
7	0,1	-	-	-	-	-	-	-
8	-	0,1	0,1	-	-	-	-	-
12	-	-	-	0,1	0,1	-	-	-
16	-	-	-	-	-	0,1	-	-
20	-	-	-	-	-	-	0,1	-
30	-	-	-	-	-	-	-	0,1
прошедших через сито номер:								

Продолжение таблицы 4

20	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	1,0	1,0	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0
3. Массовая доля гранул основной фракции, %, не менее	90,0								
4. Сферичность, условные единицы, не менее	0,7								
5. Округлость, условные единицы, не менее	0,7								
6. Растворимость в смеси соляной и фтористоводородной кислот, %, не более	8,0								
7. Растворимость в соляной кислоте, %, не более	1,0								
8. Мутность, ЕМФ, не более	200								
9. Насыпная плотность, г/см, не более	1,9								
10. Сопротивление раздавливанию, %, не более, при давлении, МПа:									
51,7	25,0	20,0	20,0	20,0	15,0	7,0	7,0	5,0	
68,9	-	25,0	25,0	25,0	20,0	10,0	10,0	8,0	
11. Относительное изменение массы при прокаливании, %, не более	5,0								
Примечание - Показатель «Относительное изменение массы при прокаливании» определяют для пропантов с полимерным покрытием.									

2) Керамический пропант.

Кварцевый песок не способен выдерживать большие напряжения сжатия, поэтому на рынке расклинивающих материалов появились керамические пропанты с большей прочностью. В сравнении с песком керамический пропант более однородный по размеру и форме и имеет высокие сферичность и округлость, что обеспечивает высокую пористость и проницаемость упаковки пропанта. Также керамика – термически и химически устойчивый материал, минимизирующий диагенез пропанта. Поскольку керамический пропант имеет более сложный производственный

процесс, он является более дорогостоящим материалом, чем кварцевый песок без покрытия или со смоляным покрытием. Керамические пропанты изготавливаются из спеченного боксита, каолина, силиката магния или смеси боксита и каолина. Базовый компонент всех керамических пропантов – оксид алюминия. Также в их составе присутствуют диоксид кремния и незначительные количества (менее 5%) различных оксидов земной коры [18].

Керамические пропанты можно разделить на три группы в зависимости от их плотности (удельного веса): легкие (LWC), средней плотности (IDC) и высокой плотности (HDC). Содержание оксида алюминия в керамических пропантах хорошо соотносится с прочностью гранул и плотностью пропанта при условии, что расклинивающий материал высокого качества. Легкий керамический пропант обычно содержит 45-50% оксида алюминия, пропант средней плотности – 70-75% оксида алюминия, а пропант высокой плотности – 80-85% оксида алюминия (таблица 5). Однако в результате исследований было обнаружено, что даже если содержание оксида алюминия увеличить до 100%, проводимость трещины значительно не увеличится [15].

Таблица 5 – Содержание оксида алюминия и удельный вес для различных керамических пропантов [15]

Керамический пропант	Содержание оксида алюминия, %	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>
Легкий	45–50	2,55–2,75
Средней плотности	70–75	2,9–3,3
Высокой плотности	80–85	3,4–3,5

Легкий керамический пропант (рисунок 10) способен выдерживать напряжения сжатия от 41 до 69 МПа. Его плотность обычно составляет 2,55-2,75 г/см<sup>3</sup> и может приближаться к плотности обычного кварцевого песка. Однако упаковка легкого керамического пропанта обеспечивает лучшую проводимость благодаря большей сферичности гранул, их однородности по размеру, а также устойчивости к высоким температурам.



Керамический проппант средней прочности может выдерживать напряжения сжатия от 55 до 83 МПа. Удельный вес этого проппанта может составлять от 2,9 до 3,3 г/см<sup>3</sup> в зависимости от производителя и используемого исходного материала.

Примером высокопрочного проппанта является спеченный боксит (рисунок 11). Он может выдерживать давление смыкания до 138 МПа и используется в глубоко залегающих пластах, где напряжение сжатия превышает 69 МПа. Этот проппант имеет в своем компонентном составе корунд, который является одним из самых твердых материалов, и используется в условиях большого давления и высокой температуры. Спеченный боксит имеет удельный вес 3,4-3,5 г/см<sup>3</sup> [16].



Рисунок 10 – Легкий керамический проппант [17]



Рисунок 11 – Керамический проппант высокой прочности [17]

Обычно заводы по производству керамического проппанта располагаются рядом с местом добычи сырья. Для керамики высокой и средней плотности источником оксида алюминия обычно является боксит, в то время как каолиновые руды служат исходным материалом для легкого керамического проппанта. Почти все производители керамического проппанта используют оксид алюминия в качестве основного компонента благодаря его превосходным прочностным свойствам, однако, может, использовалась и другая керамика, например, силикат магния.

Процесс производства керамического проппанта состоит из двух стадий – образования гранул (гранулирования) и их обжига (спекания). Гранулы

проппанта образуются в смесителе при перемешивании водного раствора со связующими химическими добавками и измельченной до порошкообразного состояния обожженной руды. Во втором процессе «сырые» гранулы обжигаются во вращающихся или туннельных печах при высоких температурах, часто превышающих 1100 °С.

В связи с огромным ростом спроса в течение последних нескольких лет керамические проппанты предлагают более 70 производителей по всему миру (большое их количество находится в Китае). Таким образом, на рынке можно встретить закрепляющие материалы самого разного качества.

Контроль качества должен соблюдаться на протяжении всего производственного процесса керамического проппанта, чтобы избежать образования гранул несферической формы, неспеченных, пористых и низкопрочных гранул (рисунок 12). При должном контроле керамические проппанты представляют собой сферические, непористые и долговечные расклинивающие агенты, обеспечивающие максимальный приток жидкости в скважину. Особое внимание к гранулометрическому составу, форме частиц, гладкости поверхности и другим параметрам имеет важное значение для создания высокопроводящего проппанта. Керамический проппант менее подвержен эрозии, чем природные кварцевые пески, и может обеспечить на порядок большую пропускную способность по сравнению с песком без покрытия или с полимерным покрытием при одних и тех же пластовых условиях [17].

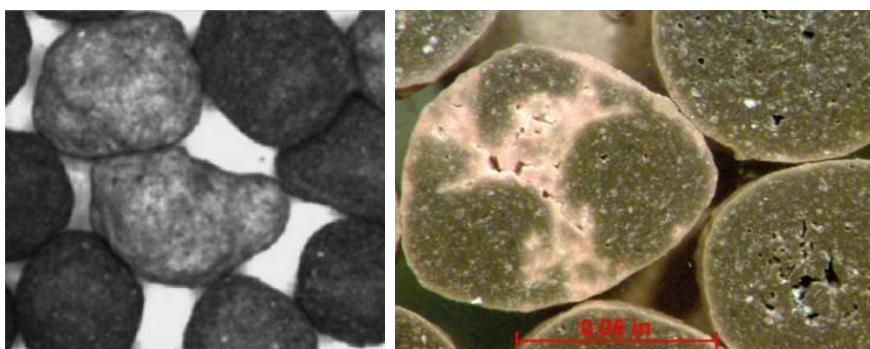


Рисунок 12 – Керамический проппант неправильной формы (слева), неспеченные и пористые гранулы (справа) [17]

### 3) Смолопокрытый проппант.

Поскольку песок для гидроразрыва легко разрушается при чрезмерной нагрузке, в результате чего образуются мелкие частицы, на поверхность зерен наносят смоляное покрытие для увеличения проводимости упаковки проппанта. Помимо кварцевого песка любой тип проппанта также может быть покрытым смолой (рисунок 13). Первым преимуществом использования смол для покрытия расклинивающего материала является то, что смоляное покрытие может удерживать осколки раздробленных гранул, что предотвращает закупоривание поровых каналов и снижение проводимости трещины. Второе преимущество заключается в том, что смолы могут соединять отдельные гранулы проппанта, тем самым предотвращая вынос расклинивающего агента в скважину потоком пластовой жидкости. Таким образом, смолопокрытые проппанты обычно используются на завершающей стадии гидроразрыва пласта, которая называется призабойной набивкой. Основной недостаток смоляного покрытия в том, что оно состоит из полимеров, которые имеют низкую температуру размягчения в сравнении с неорганическими материалами.

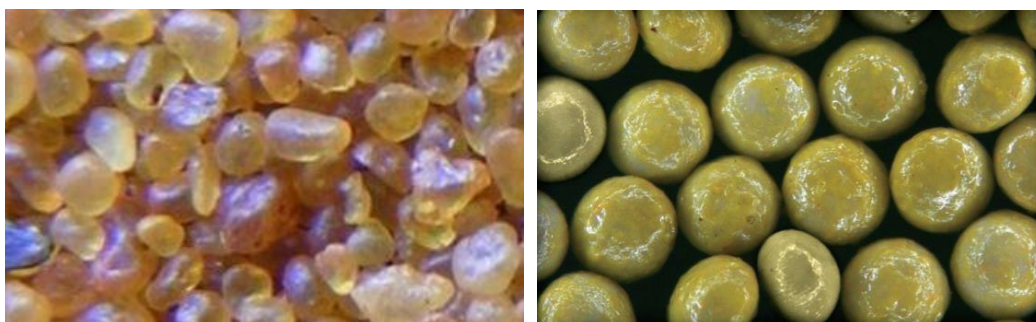


Рисунок 13 – Смолопокрытые кварцевый песок (слева) и керамический проппант (справа) [16]

Смоляное покрытие наносится на проппант либо сразу при его производстве, либо на площадке скважины при помощи жидких смолопокрывающих систем. Также покрытие может быть предварительно отвержденным или отверждаемым в пластовых условиях. Различие между ними рассмотрим на примере смолопокрытого кварцевого песка.

Песок со смоляным покрытием относится к проппантам средней прочности. Первый тип смолпокрытого песка называется песком с предварительно отвержденным смоляным покрытием (PRCS), то есть отверждение покрытия в пластовых условиях не происходит. Песок данного типа имеет прочное покрытие вокруг песчинок, которое обеспечивает более высокую проводимость в сравнении с песком без покрытия. Этот расклинивающий агент используется в пластах с напряжением смыкания трещины от 41 до 55 МПа. Смолпокрытый песок этого типа предназначен для удержания мелкодисперсных частиц под покрытием, которые образуются в результате действия давления смыкания. Однако гранулы песка не сцепляются между собой и вынос проппанта в скважину не предотвращается. Стоимость покрытого смолами песка – одна из основных причин, по которой часто отказываются от использования данного материала в пластах с напряжениями более 41 МПа.

Песок с отверждаемым смоляным покрытием (CRCS) имеет схожие свойства. Кроме удержания мелкодисперсных частиц под покрытием и предотвращения снижения проводимости, основным применением этого типа песка является контроль за выносом проппанта из трещины. Если при проведении ГРП большое количество песка, закачанного в трещину, выносится обратно вместе с жидкостью разрыва, песок с отверждаемым смоляным покрытием закачивается в конце каждой стадии ГРП для устранения данной проблемы. Гранулы этого песка сцепляются между собой в трещинах под действием давления закрытия, предотвращая вынос песка в скважину после завершения работ по гидроразрыву. Данный расклинивающий материал также имеет сопротивление раздавливанию от 41 до 55 МПа. На рисунке 14 показан отверждаемый проппант с полимерным покрытием в стандартных и пластовых условиях. После проведения гидроразрыва пласта скважина закрывается на определенное время для отверждения смоляного покрытия в пластовых условиях. В результате в трещине образуется упаковка проппанта, скрепленная смолами, окружающими каждую гранулу проппанта [16].



Рисунок 14 – Песок с отверждаемым смоляным покрытием в стандартных (слева) и пластовых (справа) условиях [16]

Проводимость пропантной пачки зависит от свойств отвержденного полимерного материала. Химические связи, которые образуются при отверждении смол, не позволяют им плавиться при повторном нагревании. Однако отвержденные смолы подвергаются небольшому размягчению при приближении пластовой температуры к температуре стеклования. Когда температура выше температуры стеклования, подвижность полимерных цепей значительно возрастает, и отвержденные смолы переходят из твердого стеклообразного состояния в более эластичное. В этом случае смоляные системы становятся мягкими, и их прочность уменьшается. Таким образом, температура стеклования – важный параметр, который может ограничивать применение тех или иных смол.

Наиболее часто используемые смолы для покрытия пропантов – эпоксидные, фурановые смолы, полиэфиры, виниловые эфиры и полиуретаны. Виды полимеров и их свойства перечислены в таблице 6. Эпоксидная смола – самый распространенный тип полимера, который используется для покрытия гранул пропанта, поскольку он обладает высокой механической прочностью, отличной термической и химической устойчивостью. Фурановая смола имеет хорошую устойчивость к высоким температурам, однако не может обеспечить достаточной механической прочности. Полиуретан может обеспечить высокую механическую прочность, хорошую термостойкость и химическую стойкость при пластовой температуре ниже 120 °С [16].

Таблица 6 – Полимерные покрытия и их свойства [16]

Полимер	Пластовые температуры, °С	Прочность	Термостойкость	Химическая устойчивость
Эпоксидные смолы	120–205	Высокая	Отличная	Хорошая
Фурановые смолы	~ 190	Низкая	Средняя	Хорошая
Полиэфир	100–150	Ниже среднего	Ниже среднего	Средняя
Карбамид-альдегидные смолы	120–205	Высокая	Отличная	Хорошая
Полиуретаны	100–120	Высокая	Хорошая	Средняя
Фенол-альдегидные смолы	120–205	Высокая	Отличная	Хорошая
Виниловые эфиры	100–150	Ниже среднего	Ниже среднего	Средняя
Фурфурольные смолы	120–205	Высокая	Отличная	Хорошая

#### 4) Облегченный проппант.

Удельный вес кварцевого песка составляет примерно  $2,65 \text{ г/см}^3$ , а удельный вес керамического проппанта может достигать  $3,9 \text{ г/см}^3$ . Эти материалы значительно тяжелее, чем вода (удельный вес  $1,0 \text{ г/см}^3$ ) или растворы солей (удельный вес около  $1,2 \text{ г/см}^3$ ), которые являются базовыми жидкостями, используемыми для транспорта проппанта в пласт. При использовании проппантов высокой плотности существуют следующие особенности:

- использование материалов с высокой плотностью означает меньший объем трещины, заполненной определенным весом расклинивающего агента;
- высокая плотность материала отражается на его высокой стоимости;
- материал с высокой плотностью имеет высокую скорость осаждения в жидкости-носителе.

Чтобы предотвратить преждевременное осаждение проппанта, стандартной практикой является использование жидкостей для гидроразрыва с большой вязкостью – это помогает удерживать расклинивающий материал во взвешенном состоянии, чтобы он мог проникать вглубь трещины.

В некоторых случаях рекомендуется использовать сверхлегкий проппант, поскольку он уменьшает осаждение расклинивающего агента, не требует высокой вязкости жидкости для транспортировки и позволяет увеличить эффективную полудлину трещины. Сланцевые пласты часто разрываются с помощью slickwater-систем (жидкостей разрыва малой вязкости), которые образуют длинные трещины и вызывают минимальное повреждение пласта в сравнении с жидкостями разрыва, сшитыми полимерами. Из-за низкой вязкости воды проппант высокой плотности не может эффективно переноситься. Поэтому используются очень большие скорости закачки для перемещения расклинивающего агента в трещину именно за счет скорости, а не вязкости и упругости жидкости. В случаях, когда требуются высокие скорости закачки или жидкости-носители с низкой вязкостью, как альтернативный вариант может использоваться проппант с меньшей плотностью.

Для снижения удельного веса проппанта использовались несколько методов. В таблице 7 представлено сравнение значений удельного веса различных типов легких проппантов. Удельный вес легких проппантов может составлять от 0,8 до 2,59 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 7 – Значения удельного веса различных типов легких проппантов [10]

Проппант	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>
Скорлупа грецких орехов	~ 1,25
Скорлупа грецких орехов, пропитанная и покрытая смолами	1,25
Пластиковый проппант	1,1–1,4
Проппант из смеси термопластичных полимеров	1,08
Пористый керамический проппант	1,8–2,4
Смолопокрытый пористый керамический проппант	1,75
Усовершенствованный керамический проппант	2,0–2,9
Полые стеклянные сферы	0,8–1,4
Полые сферы и частицы вытянутой формы из стекла, керамики, металлов, оксидов металлов	0,8–1,75
Кварцевый песок, покрытый неорганическими полимерами	2,55–2,59

Один из способов получения легкого проппанта заключается в том, чтобы выбрать материал, имеющий малый удельный вес. Раньше в качестве легкого проппанта использовались скорлупа и кожура грецких орехов, а также косточки фруктов. Низкая прочность этих материалов ограничивает их применение – они пригодны для использования лишь в пластах с относительно низким давлением смыкания. Кроме того, маленькие частицы, образующиеся при раздавливании таких материалов, уменьшают проницаемость трещины.

Также был предложен более прочный вариант – скорлупа грецких орехов, пропитанная и покрытая смолами. Данный материал имеет удельный вес  $1,25 \text{ г/см}^3$  и насыпную плотность  $0,85 \text{ г/см}^3$ . Он может выдерживать напряжение сжатия до 41 МПа при  $80^\circ\text{C}$ . С увеличением температуры максимальное допустимое напряжение смыкания для этого материала снижается. При  $107^\circ\text{C}$  максимальное напряжение сжатия, которое способен выдержать материал, составляет 28 МПа.

К сверхлегким материалам также относится проппант, изготовленный из смеси термопластичных полимеров (ТРА). Он состоит из кристаллической фазы, обеспечивающей превосходную химическую устойчивость, и аморфной фазы, обеспечивающей высокую прочность и термостойкость. Удельный вес проппанта этого типа составляет  $1,08 \text{ г/см}^3$ , что приближается к плотности жидкости для гидроразрыва на водной основе. Для данного проппанта была предложена однослойная концепция заполнения трещины, поскольку она обеспечивает гораздо большую пористость, чем плотная многослойная упаковка проппанта. В лабораторных испытаниях нагрузка на проппант в начале эксперимента составляла 41 МПа, а его концентрация была специально снижена, чтобы заполнить трещину лишь частично. В ходе испытаний нагрузка на проппант превышала 76 МПа. В итоге, пористость трещины составила 74% в начале эксперимента и примерно 46% после испытаний. Ограничение по температуре для этого типа проппанта составляет  $120^\circ\text{C}$ .

Еще один тип сверхлегкого проппанта – покрытый смолой пористый керамический проппант с удельным весом  $1,75 \text{ г/см}^3$ . Смоляное покрытие



предотвращает проникновение жидкости в поры гранулы, чтобы сохранить малую плотность проппанта. Пористость материала в среднем составляет 50%, что дает объемную плотность 1,10-1,15 г/см<sup>3</sup> и удельный вес 1,75 г/см<sup>3</sup>. Данный проппант может выдерживать напряжение сжатия до 55 МПа при 135°С.

Другой способ снижения удельного веса проппанта при сохранении механической прочности – покрытие проппанта высокой плотности материалом низкой плотности. Так, был разработан композитный проппант, состоящий из ядра (пористая керамика или кварцевый песок), покрытого порошкообразным материалом с меньшей плотностью для увеличения плавучести проппанта. Покрытие может составлять от 0,1 до 20% от массы композитного проппанта. Частицы с покрытием лучше удерживаются жидкостью разрыва, предотвращается их быстрое осаждение.

Еще одним способом снижения удельного веса проппанта является включение пустот в проппант, который изначально имеет высокую прочность на раздавливание. Например, была представлена линейка усовершенствованных керамических проппантов на основе смешанных оксидов металлов. Данные керамические проппанты имеют большую удельную прочность, чем обычные керамические проппанты, а проводимость упаковки такого проппанта выше проводимости обычных проппантов и кварцевого песка, что было доказано в промышленных испытаниях.

Кроме того, были разработаны сверхлегкие проппанты, которые изготавливаются из полых сфер и частиц вытянутой формы. Полые частицы имеют стенку однородной толщины, состоящую из одно- или многокомпонентных материалов, таких как стекло, керамика, металлы, оксидов металлов или их комбинации. В результате частицы обладают нейтральной плавучестью или практически нейтральной плавучестью, сохраняя при этом механическую прочность. Плотность данных материалов может составлять от 0,8 до 1,75 г/см<sup>3</sup>.

Также был предложен подход, который заключается в повышении прочности недорогих кварцевых песков путем покрытия их неорганическими

полимерами. Физические свойства неорганических полимеров в значительной степени определяются их составом. Покрытие было изготовлено из сетчатого неорганического полимера, имеющего аморфную трехмерную структуру, которая значительно увеличивала прочность кварцевого песка на сжатие. Полученные расклинивающие материалы с полимерным покрытием имеют удельный вес 2,55-2,59 г/см<sup>3</sup> и устойчивы к высоким напряжениям сжатия (более 69 МПа).

Несмотря на то, что существует множество способов производства облегченных проппантов, прочность гранул остается главным критерием, определяющим, при каком напряжении сжатия может использоваться конкретный тип проппанта [10].

## **2.1 Новые разработки в области проппантов**

### **2.1.1 Сверхпрочный проппант**

В процессе разработки глубокозалегающих коллекторов на шельфе было обнаружено, что традиционная технология бокситового проппанта высокой прочности не подходит для шельфовых месторождений. Для этих условий была разработана новая технология сверхпрочного проппанта, которая включает в себя использование исходного материала с очень высоким содержанием оксида алюминия и новый производственный процесс. Проппант этого типа значительно прочнее, предельно сферический и гладкий, однородного размера и менее подвержен эрозии в сравнении с бокситовым керамическим проппантом (рисунок 15). У гранул сверхпрочного проппанта практически отсутствуют внутренняя пористость и дефекты в структуре, что особенно заметно под микроскопом (рисунок 16) [18].



Рисунок 15 – Сверхпрочный проппант UHSP (слева) и высокопрочный бокситовый проппант HSP (справа) [18]

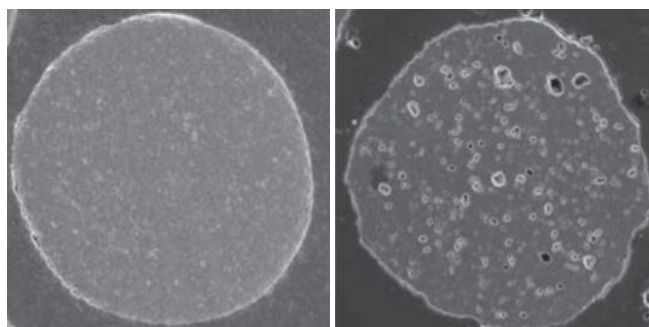


Рисунок 16 – Гранулы сверхпрочного (слева) и высокопрочного (справа) проппантов под микроскопом [18]

Стандартные испытания на долговременную проводимость показали, что сверхпрочный проппант может обеспечить в два раза большую проводимость, чем высокопрочный бокситовый, при давлении 138 МПа. В свою очередь, при нагрузке 97 МПа сверхпрочный проппант может обеспечить в 1,4-2,2 раза больше проводимости, чем бокситовый при этом же давлении, поэтому новый тип проппанта может найти применение и при меньшей нагрузке. Свойства сверхпрочного UHSP и высокопрочного бокситового HSP проппантов приведены в таблице 8 [18].

Таблица 8 – Сравнение свойств сверхпрочного и высокопрочного бокситового проппантов [18]

Свойство	Проппант	
	Сверхпрочный UHSP	Высокопрочный бокситовый HSP
Фракция, меш	25	20/40
Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	3,60	3,56
Содержание оксида алюминия, %	> 95	80–85
Средний размер гранул, мм	0,815	0,700

## Продолжение таблицы 8

Доля разрушенных гранул в % при нагрузке:		
103 МПа	1	3
138 МПа	4	9
Проводимость в мД×м при нагрузке:		
97 МПа	754	564
138 МПа	442	229
Растворимость в кислотах, %	< 2	3–10

Результаты моделирования процесса гидроразрыва с новым типом расклинивающего агента показали, что использование сверхпрочного проппанта может привести к увеличению добычи более чем на 20%, чем при использовании боксита.

Кроме того, низкая абразивность сверхпрочного проппанта дает операторам возможность проводить более крупные операции гидроразрыва без ограничений, касающихся износа оборудования, что положительно сказывается на добыче нефти из глубокозалегающих коллекторов.

Также была разработана версия данного проппанта с низкой плотностью (удельный вес 2,8 г/см<sup>3</sup>), в котором используются те же усовершенствование производственного процесса и материал низкой плотности. В результате получается достаточно прочный легкий проппант, который демонстрирует более высокую проводимость, чем обычный проппант средней плотности, а в некоторых случаях сравним с бокситовым проппантом. Этот продукт теперь часто используется вместо стандартного проппанта из боксита [18].

### 2.1.2 Проппанты различной формы

Принято считать, что форма гранул проппанта должна быть сферической или почти сферической, потому что в этом случае образуются более плотная упаковка проппанта и оптимальный размер поровых каналов. Угловатые и заостренные частицы проппанта имеют тенденцию разрушаться в местах контакта, что приводит к снижению проводимости. Согласно стандартам, керамический проппант и смолпокрытый керамический проппант

должны иметь показатели сферичности и округлости от 0,7 (для всех остальных проппантов от 0,6 соответственно). Идеально сферические проппанты одинакового размера обеспечивают трещины самой высокой проводимости. Однако не так давно были разработаны проппанты с формой, сильно отличающейся от сферической [10].

Проппант цилиндрической формы имеет два основных преимущества над классическим сферическим проппантом: улучшенная проницаемость проппантной пачки (для увеличения добычи после проведения ГРП) и защита от выноса проппанта при освоении и добыче. По сравнению с традиционным проппантом с полимерным покрытием, частицы цилиндрического проппанта (рисунок 17) не создают между собой химических связей, поэтому характеристики проппанта данного типа не зависят от температуры в скважине, а сам проппант является химически инертным для окружающей среды. В то же время, уникальная форма частиц проппанта и их способность входить в зацепление между собой предотвращают вынос проппанта, не требуя применения каких-либо химических реагентов (рисунок 18). Как показывают результаты лабораторных испытаний, цилиндрический проппант превосходит проппанты фракций 12/18 и 16/20 в полном диапазоне напряжений, при этом проводимость пачки из цилиндрического проппанта в два раза превышает проводимость стандартной проппантной пачки. Очевидно, что применение нового проппанта на конечных стадиях обработки позволит создать увеличенную проводимость трещины в приствольной зоне по сравнению с традиционным проппантом с частицами сферической формы. Основные характеристики цилиндрического проппанта представлены в таблице 9.



Рисунок 17 – Цилиндрический проппант [19]

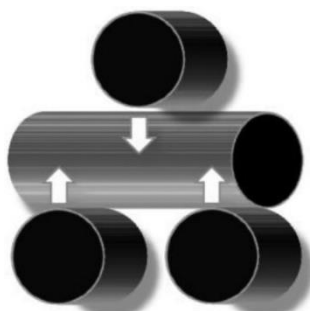


Рисунок 18 – Ограничение подвижности цилиндрических частиц [20]

Таблица 9 – Основные свойства цилиндрического проппанта [20]

Параметр	Значение
Средняя длина цилиндра, мм	2,4–3,0
Средний диаметр цилиндра, мм	1,4–1,5
Удельный вес, кг/м <sup>3</sup>	3,5–3,67
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2,0–2,2
Доля разрушенных гранул при нагрузке 103 МПа, %	Макс. 22 %

Необходимо отметить, что нетрадиционная форма проппанта налагает дополнительные требования к подготовке скважин, дизайну жидкости, оборудованию ГРП и графику закачки. Для предотвращения преждевременных «стопов» на основании промыслового опыта были установлены критерии:

- угол наклона ствола скважины в интервале перфорации – не более 15°;
- минимальный диаметр перфорационных отверстий, достаточный для прохождения проппанта – 12 мм;
- минимальная вязкость жидкости для предотвращения осаждения проппанта и поддержания удовлетворительных несущих свойств жидкости – 400 сПз при 100 сек<sup>-1</sup>;
- минимальная средняя ширина трещины – 6 мм, что соответствует минимальным критериям прохождения цилиндрического проппанта через перфорационные отверстия [20].

С точки зрения практического применения, закачка цилиндрического проппанта не усложняет процесс проведения ГРП. Но цилиндрический проппант является проппантом повышенной прочности (HSP) с острыми краями, что может способствовать дополнительному износу оборудования ГРП [19].

Также был разработан керамический проппант Х-образной формы (рисунок 19), обеспечивающий более высокую влекущую силу потока и, следовательно, более медленное осаждение частиц в сравнении с песчаным проппантом. Данная концепция основана на связи между увеличением силы сцепления между частицами расклинивающего агента и уменьшением скорости его осаждения. Гранулы этого проппанта были спроектированы таким образом, чтобы центр тяжести и центр масс были смещены. Это приводит к тому, что частицы постоянно «кувыркаются» и цепляются друг за друга при движении в жидкости. Гранулы песка и Х-образного проппанта приведены на рисунке 20.

Х-образные частицы имеют скорость осаждения, эквивалентную скорости осаждения сферических гранул с удельным весом  $1,84 \text{ г/см}^3$ , что обеспечивает эффективный транспорт и размещение в трещине даже в маловязких жидкостях, например, slickwater-системах. Кроме того, данный проппант может предотвратить вынос проппанта из трещины за счет сцепления частиц в упаковке [21].

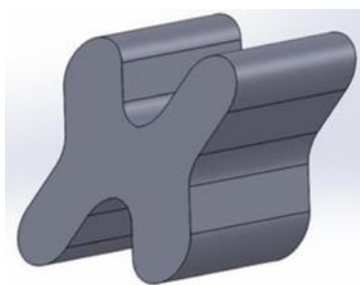


Рисунок 19 – Частица Х-образного проппанта [21]



Рисунок 20 – Гранулы кварцевого песка и проппанта Х-образной формы [21]

### 2.1.3 Самосусpendingующийся проппант

Еще одна разработка в области проппантов – самосусpendingующийся проппант (SSP), который может находиться в жидкости-носителе во взвешенном состоянии. Его изготавливают путем покрытия гранул керамического проппанта или кварцевого песка гидрогелевым полимерным покрытием. В воде полимерное покрытие гидратируется (поглощает воду) и набухает, что приводит к снижению удельного веса гранулы проппанта. Гранула самосусpendingуемого проппанта в жидкости представлена на рисунке 21. Так как удельный вес снижается, проппант меньше осаждается и переносится дальше по трещине, следовательно, происходит равномерное размещение проппанта в трещине [22].

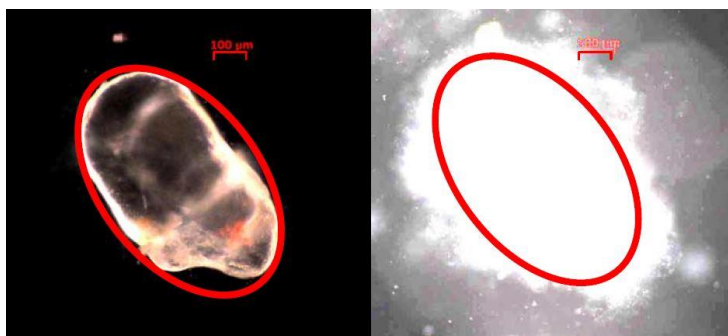


Рисунок 21 – Гранула самосусpendingующегося проппанта фракции 40/70 под микроскопом при низкой (слева) и высокой (справа) яркости [22]

Жидкость с добавленным в нее самосусpendingующийся проппантом может иметь 2 состояния: неполного и полного насыщения. При неполном насыщении гидрогелевый полимер не абсорбирует всю воду, и гранулы проппанта могут осаждаться из-за гравитационных сил, когда скорость осаждения преобладает над скоростью потока жидкости. Оптимальный транспорт самосусpendingующегося проппанта достигается при концентрации от 3 ppa – фунтов на галлон жидкости-носителя (1,4 кг проппанта на 3,8 л воды), то есть при полном насыщении.

Улучшение транспорта и размещения проппанта в трещине достигается за счет увеличения его концентрации. Пока жидкость насыщена



не полностью (концентрация проппанта менее 3 рра), увеличение концентрации приводит к увеличению объема трещины, заполненного проппантом, плотность упаковки не изменяется. При полном насыщении, каждая гранула проппанта, а именно ее полимерное покрытие, «хочет» гидратироваться, что приводит к снижению толщины набухшей полимерной оболочки. При дальнейшем увеличении концентрации плотность упаковки увеличивается, так как остается все меньше воды в пространстве между гранулами. Самосуспендирующийся проппант в жидкости при различных концентрациях представлен на рисунке 22.

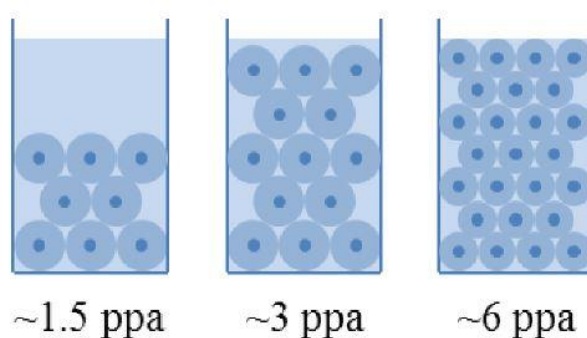


Рисунок 22 – Самосуспендирующийся проппант в жидкости при различных концентрациях (рра– фунт на галлон):

1,5 рра ~ 180кг/м<sup>3</sup>, 3 рра ~ 360 кг/м<sup>3</sup>, 6 рра ~ 719 кг/м<sup>3</sup> [22]

При набухании гидрогеля в жидкости разрыва толщина оболочки может составлять от 10 до 100% от диаметра гранулы, а объем всей гранулы может увеличиваться до четырех раз. В результате значительно снижается удельный вес гранул расклинивающего материала (таблица 10), и набухший проппант находится в жидкости во взвешенном состоянии. Таким образом, высоковязкая жидкость-носитель больше не требуется. Также самосуспензируемый проппант не вызывает повреждения пласта. После разрушения полимера при помощи окислителя, его остатки выносятся потоком жидкости обратно в скважину.

Таблица 10 – Удельный вес и размер гранул самосуспендирующегося проппанта на базе проппанта с удельным весом 2,65 г/см<sup>3</sup> в жидкости разрыва [23]

Увеличение объема, %	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Средний диаметр гранул, мм		
		20/40	30/50	40/70
0	2,6	0,600	0,410	0,320
50	2,1	0,685	0,468	0,365
100	1,8	0,754	0,515	0,402
150	1,6	0,812	0,555	0,433
200	1,5	0,863	0,590	0,460
250	1,5	0,908	0,621	0,485
300	1,4	0,950	0,649	0,507
400	1,3	0,1023	0,699	0,546

Способность самосуспендирующегося проппанта находится в жидкости во взвешенном состоянии продемонстрирована на рисунке 23.

В лабораторных исследованиях проводилось сравнение системы жидкости с самосуспендирующимся проппантом со slickwater-системой (водой с понизителем трения) и сшитым гелем (высоковязкой жидкостью). По результатам экспериментов на стендах, имитирующих трещину ГРП, при использовании самосуспендирующегося проппанта в сравнении со slickwater-системой эффективная полудлина трещины увеличилась на 71%, потребовалось на 80% меньше жидкости-носителя. При использовании нового типа проппанта в сравнении со сшитым гелем эффективная полудлина трещины увеличилась на 100%, потребовалось на 46% меньше жидкости-носителя.

Таким образом, технология самосуспендирующегося проппанта позволяет увеличить эффективность проведения ГРП. Использование данного расклинивающего агента позволяет:

- 1) увеличить эффективную полудлину трещины при снижении до минимума повреждения пласта и упаковки проппанта;

2) создать подвижную жидкость, переносящую большие концентрации проппанта без риска его преждевременного осаждения;

3) сформировать плотную и однородную упаковку проппанта в трещине, которая увеличит объём пласта, затронутый ГРП [22].



Рисунок 23 – Самосuspendирующийся проппант в пластовой воде (слева) и проппант без покрытия в slickwater-системе (справа) [23]

#### **2.1.4 Пористый проппант с ингибитором солеотложений**

Использование ингибиторов для предотвращения отложения солей в добывающих скважинах широко распространено на месторождениях. Традиционные методы включают «продавливание» ингибитора до продуктивного горизонта, закачку жидкого ингибитора в процессе гидроразрыва, добавление ингибитора солеотложений в систему газлифта через затрубное пространство и т.д. Однако каждый из вышеперечисленных методов имеет свои ограничения: продавливание ингибитора до интервала перфорации необходимо проводить достаточно часто, добавленный в жидкость разрыва ингибитор очень недолговечен, а действие ингибитора в системе газлифта не распространяется на перфорационные отверстия и трещины.

Другой способ ингибирования – использование ингибиторов на основе гранул. Существуют два варианта этой технологии: первый, когда

частицы не являются проппантом и просто добавляются к нему на стадии закачки, и второй, когда ингибитор является частью гранулы проппанта и занимает некоторый ее объем. Оба решения имеют преимущество в том, что ингибитор в той или иной форме проникает глубоко в трещины и действует на добываемый флюид от самого кончика трещины до наземного оборудования. Следовательно, постепенный вынос ингибитора вместе с добываемой продукцией скважины в процессе ее эксплуатации позволяет уменьшить отложения солей в призабойной зоне пласта, в подземном и наземном оборудовании. Использование проппанта в качестве носителя для ингибитора солеотложений впервые было применено в 1990-х годах. Высококачественный керамический проппант обычно изготавливают таким образом, чтобы минимизировать внутреннюю пористость гранулы и максимизировать ее прочность. Однако в новой технологии гранулы керамического проппанта специально изготавливаются с внутренней пористостью и сообщающимися порами (рисунок 24). Пористость гранул может быть адаптирована к необходимому количеству ингибитора для конкретного дизайна ГРП. При необходимости тип проппанта и сырье для его изготовления могут быть изменены для обеспечения более высокой прочности. Ингибитор солеотложений заполняет поры гранул проппанта и затем высушивается для транспортировки. При проведении ГРП ингибированный проппант смешивают с обычным керамическим проппантом – в результате трещина равномерно заполняется двумя видами проппанта (рисунок 25). Несмотря на первоначальный успех, первой версии этой технологии были присущи два недостатка:

- 1) при использовании жидкостей ГРП, чувствительных к кислотности раствора, ингибированный проппант мог оказывать негативное влияние на «сшивание» жидкости разрыва;
- 2) продолжительность ингибирования была небольшой из-за быстрого выноса ингибитора из гранул.

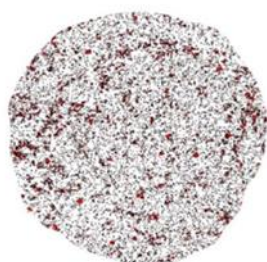


Рисунок 24 – Гранула пористого ингибированного проппанта в разрезе (красные точки – ингибитор) [24]

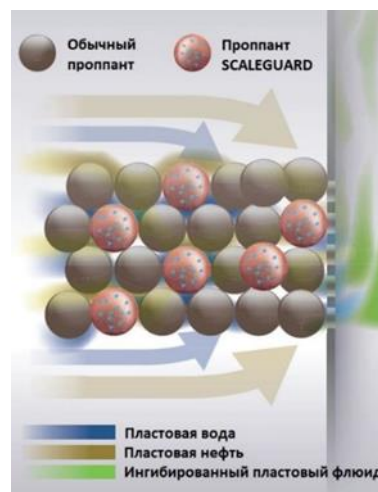


Рисунок 25 – Размещение ингибированного проппанта [24]

За последние годы данная технология была усовершенствована путем внесения изменений в химический состав и добавления полупроницаемой мембраны поверх ингибированной гранулы. Эта мембрана служит двум очень важным целям. Во-первых, она значительно сокращает преждевременное вымывание ингибитора, что защищает жидкость ГРП от увеличения кислотности раствора. Во-вторых, снижение преждевременного вымывания ингибитора и полупроницаемая оболочка существенно продлевают срок обработки. Кроме того, эта мембрана способствует выделению химического вещества только в присутствии воды. Проницаемость мембраны также может быть подобрана для требуемой скорости вымывания ингибитора [24].

### **2.1.5 Проппант с модификатором относительной проницаемости**

Традиционные проппанты имеют достаточно гидрофильную поверхность. Исследования показывают, что капиллярные силы, удерживающие жидкости в проппантной пачке, могут быть очень большими. Лабораторные испытания подтверждают, что для выноса воды из трещины

гидроразрыва, особенно при многостадийном ГРП в горизонтальных скважинах, могут потребоваться большие депрессии.

Была разработана новая технология расклинивающего агента, при которой на поверхность гранул керамического проппанта наносится химически активное покрытие – модификатор относительной проницаемости (МОП). Это покрытие имеет очень маленькую толщину, примерно 0,13 мкм или менее 1% толщины покрытия на грануле смолопокрытого проппанта. Покрытие наносится на каждую гранулу после изготовления подложки проппанта. Его можно наносить на керамический проппант любого типа и размера, включая керамический проппант низкой, средней и высокой плотности.

Ключевой особенностью покрытия является его способность изменять смачиваемость поверхности гранулы проппанта до состояния нейтральной смачиваемости. Так как покрытие наносится на каждое зерно проппанта, вся упаковка проппанта имеет нейтральную смачиваемость. Когда поверхность является нейтрально-смачиваемой, краевой угол  $\theta$  составляет  $90^\circ$  (рисунок 26). Согласно уравнению Юнга-Лапласа, капиллярное давление в пористой среде определяется как:

$$P_k = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе раздела фаз жидкость-газ;

$\theta$  – краевой угол смачивания;

$r$  – радиус капилляра [25].

При угле смачивания  $90^\circ$  его косинус равняется нулю, что приводит к устранению капиллярных сил в упаковке проппанта, обеспечивая повышенную проницаемость для углеводородов и воды. Модификатор относительной проницаемости может быть использован при температуре до  $205^\circ\text{C}$  и совместим со всеми видами жидкостей разрыва. Капля воды на

гранулах проппанта с нанесенным на них МОП представлена на рисунке 27 [24].

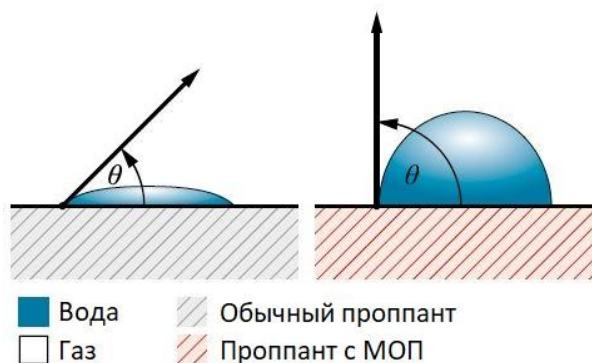


Рисунок 26 – Краевой угол смачивания [24]



Рисунок 27 – Капля воды на гранулах проппанта с МОП [24]

Проппант с модифицированной относительной проницаемостью, улучшает очистку трещины от жидкости ГРП за счет уменьшения удержания жидкости разрыва в проппантной пачке (рисунок 28), что повышает проводимость трещины. Улучшенный вынос жидкости ГРП и увеличение проводимости приводят к увеличению эффективной длины трещины.

Эффект падения давления, вызванный движением многофазного потока в трещине, может привести к снижению добычи и конечной нефтеотдачи за счет того, что отдается предпочтение одной углеводородной фазе над другой фазой. Когда в упаковке проппанта присутствуют две фазы, они претендуют на одно и то же пространство для своего движения. Снижая капиллярное давление путем использования проппанта нейтральной смачиваемости, можно значительно уменьшить количество воды,

занимающей поровое пространство (рисунок 29), что в конечном итоге позволяет увеличить добычу нефти [24].

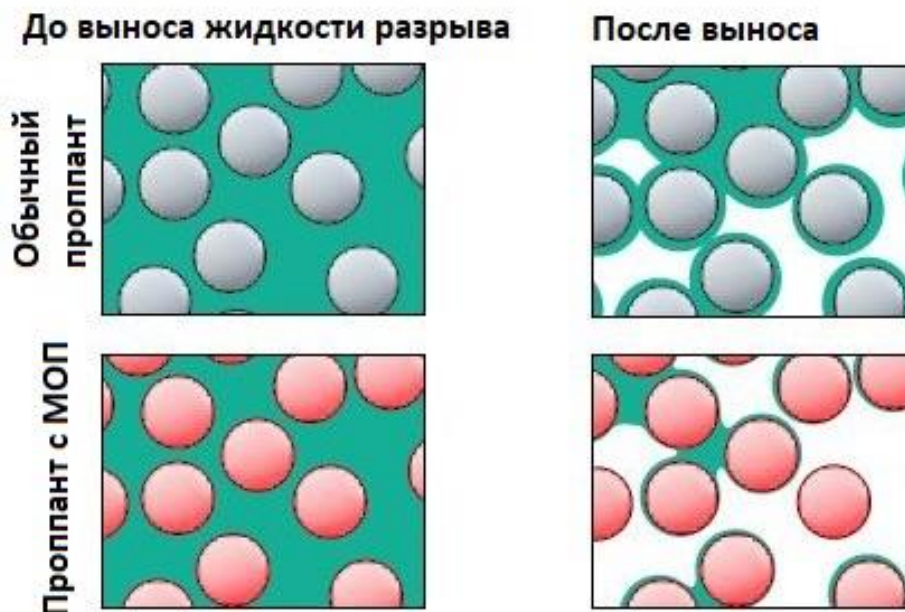


Рисунок 28 – Вынос жидкости разрыва [24]

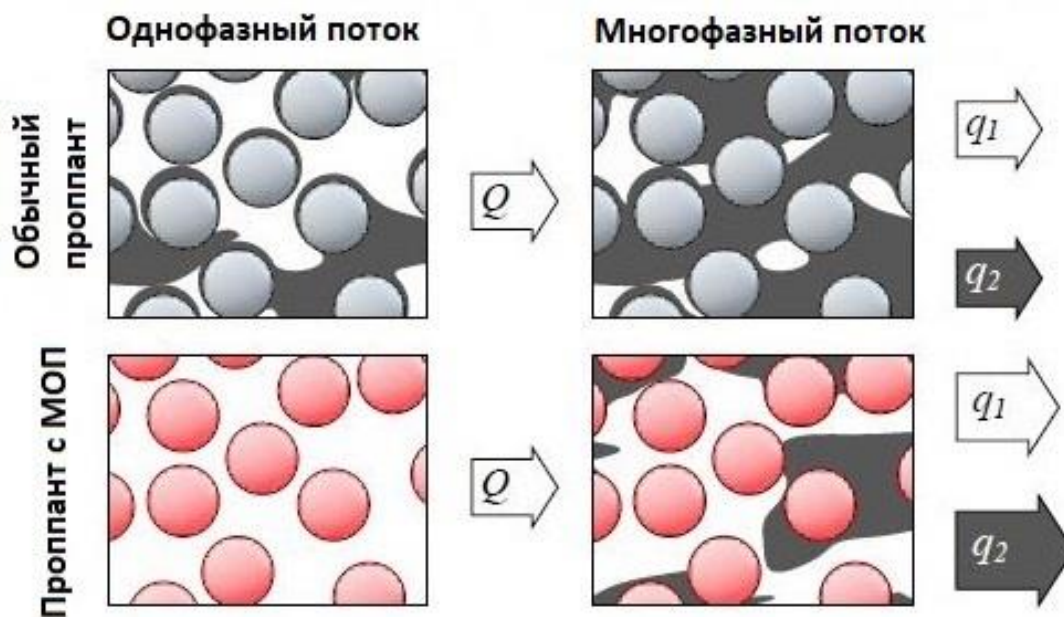


Рисунок 29 – Одно- и многофазный поток [24]



### **3 ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОППАНТОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

Глава 3: «ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОППАНТОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ» исключена, так как содержит коммерческую тайну

#### **3.1 Расчет необходимого количества проппанта для проведения ГРП на Рыбальном месторождении**

Раздел 3.1: «Расчет необходимого количества проппанта для проведения ГРП на Рыбальном месторождении» исключен, так как содержит коммерческую тайну

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Б73Т	Кульбака Анастасия Викторовна

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	21.03.01 «Нефтегазовое дело»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет стоимости работ, материальных ресурсов выполнялся согласно рыночным ценам Томской области. Оклад руководителя – 30 000 рублей; Оклад исполнителя – 15 000 рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент доплат – 0,15; - накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисление во внебюджетные фонды 30,2%

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT–анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки ресурсной, финансовой эффективности

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

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Б73Т	Кульбака Анастасия Викторовна		

## **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Данная глава посвящена применению гидравлического разрыва пласта на нефтяных месторождениях. Средняя проницаемость в новых зонах бурения снижается с каждым годом, что становится причиной снижения рентабельности месторождения. В связи с этим необходимо применение МУН для увеличения продуктивности скважин. Наиболее распространенной технологией является применения ГРП, поскольку оно имеет целый ряд преимуществ, которые выделены в главе 5.1.2 Анализ конкретных технических решений. Применение ГРП актуально для всех нефтегазовых компаний, поэтому они заинтересованы в новых технологиях и результатах исследований. ГРП в настоящее время очень распространен как в России, так и за рубежом.

При этом для повышения эффективности технологии необходимо знать сильные и слабые стороны, поэтому в данной главе проводится SWOT анализ.

### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Технологий ГРП имеет ряд преимуществ над альтернативными методами солянокислотной обработкой (СКО) и дополнительной перфорацией (ДП) – анализ приведен в таблице 12.

Таблица 12 - Сравнение альтернативных технологий [27]

Параметр	ГРП	СКО	ДП
Стоимость, млн. руб.	1-3	0,3-0,5	0,2
Повышение продуктивности, %	200-500	30	10
Применимость	Средняя	Низкая	Низкая
Геологические ограничения	Подошвенная вода, газовая шапка	Тип породы	Мощность коллектора

Из таблицы 12 видно, что, несмотря на то, что стоимость ГРП примерно в 2-15 раз выше, прирост в продуктивности от технологии выше в 10-50 раз, что подтверждается масштабностью тиражирования.

При этом технология ГРП значительно более часто применяется на месторождениях (более чем в 80% случаев), поскольку в отличие от СКО и ДП она создает дополнительные высокопроводимые каналы, а не убирает загрязнения. Единственными сдерживающими факторами применения технологии является наличие подошвенной воды и газовой шапки.

#### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ используют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он дает четкое представление о ситуации и указывает, в каких направлениях нужно действовать производителю, используя сильные стороны, чтобы максимизировать возможности и свести к минимуму угрозы и слабости. SWOT-анализ представлен в таблице 13.

Таблица 13 – SWOT-анализ для исследования внешней и внутренней среды проекта нашего производства [27]

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая эффективность</li> <li>2. Накопленный опыт применения ГРП</li> <li>3. Применение на горизонтальных скважинах</li> </ol>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неприменимость при наличии газовой шапки</li> <li>2. Потеря скважины в случае аварии</li> <li>3. Высокая стоимость</li> </ol>
--	--	---

Продолжение таблицы 13

<p><b>Возможности:</b>          1. Массовое применение          2. Шаблонность процедуры          3. Использование естественной воды</p>	<p>1. Снижение стоимости за счет закупки собственного оборудования          2. Использование высококвалифицированных ресурсов          3. Повышение диапазона применимости</p>	<p>1. Необходимость проведения дополнительных расчетов          2. Аварии в случае недостаточного контроля за операцией          3. Снижение эффективности</p>
<p><b>Угрозы:</b>          1. Аварии по вине персонала          2. Ограничение флотов ГРП</p>	<p>1. Повышение квалификации сотрудников          2. Контрактование на запланированный объем          3. Оптимизация параметров технологии</p>	<p>1. Невозможность применения из-за высокой стоимости          2. Потери инвестиций в скважину при аварии</p>

По итогам SWOT-анализа выявлены возможности для дальнейшего развития технологии ГРП.

1) Снижение негативного влияния угрозы 1 (аварии по вине персонала) может быть достигнуто за счет массового тиражирования технологии и тем самым повышения квалификации сотрудников через большое количество проведенных однотипных операция.

2) Риск ограниченности флотов ГРП на рынке (угроза 2) может быть снижен за счет приобретения собственного оборудования. Сейчас ГРП проводится на 70% горизонтальных скважин и на данный вид операции повышенный спрос. Приобретение собственного оборудования в кратчайшие сроки позволит окупить инвестиции, а также не зависеть от рынка услуг. При этом дополнительно снижается и негативное воздействие угрозы 1, поскольку за счет наращивания количество проведенных операций повышается квалификация сотрудников и снижает риск аварии.

3) Высокая эффективность и возможность масштабного тиражирования выделяют технологию ГРП по сравнению с конкурентами. Большинство угроз и слабых мест могут быть нивелированы за счет этого. Однако необходимо уделять внимание качеству проектирования и планированию работ.

## 4.2 Структура работ в рамках научного исследования

### 4.2.1 Структура научно-исследовательских работ

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей [27]

Основные этапы	Номер раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, Исполнитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ накопленного опыта применения	Руководитель, Исполнитель
	6	Подбор оптимальных параметров	Бакалавр
	7	Оценка прироста дебита нефти	Руководитель, Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	8	Экономическая оценка полученных результатов	Исполнитель
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, Исполнитель
Оформление комплекта документации по ВКР	10	Составление пояснительной записки	Исполнитель

### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение ожидаемой (средней) трудоемкости выполнения:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (5)$$

где  $t_{ожі}$  – наиболее вероятное время в течение, которого должна быть выполнена работа, чел-дни;

$t_{mini}$  – минимальное время для выполнения данного этапа при благоприятном стечении обстоятельств, чел-дни;

$t_{maxi}$  – максимальное время для выполнения данного этапа при неблагоприятном стечении обстоятельств, чел-дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости, рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (6)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дней;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел-дни;

$ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (7)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (8)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

В 2021 году 365 календарных дней, из них выходных и праздничных дней 118 для 5-ти дневной рабочей недели и 66 для 6-ти дневной рабочей недели. Тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365-118} = 1,48$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365-66} = 1,22$$

В таблице 15 представлены временные показатели проведения научно-исследовательской работы.

Таблица 15 – Временные показатели проведения научного исследования [27]

Наименование работ	Трудоемкость работ			Исполнители	T <sub>p</sub> , раб. дн.	T <sub>ki</sub> , кал. дн.
	t <sub>min</sub> , чел-дн.	t <sub>max</sub> , чел-дн.	t <sub>ож</sub> , чел-дн.			
Составление и утверждение технического задания	2	4	2,4	Р	2,4	3
Выбор направления исследований	2	4	2,4	Р, И	1,2	2,1
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	И	12	18
Календарное планирование работ по теме	2	4	2,4	Р, И	1,2	2,1
Анализ накопленного опыта применения	5	8	6,2	Р, И	3,1	4,6
Подбор оптимальных параметров	20	25	22	И	22	32,5
Оценка прироста дебита нефти	5	8	6,2	Р, И	3,1	4,6
Определение целесообразности проведения ВКР	5	8	6,2	Р, И	3,1	4,6
Составление пояснительной записки Расчет потенциального эффекта от технологии	2	3	2,4	Р, И	2,4	4
Оценка возможности тиражирования технологии	10	20	14	И	14	20,1
					64,5	95,6

Р – руководитель; И – исполнитель.

На основе таблицы 15 был построен календарный план-график в виде диаграммы Ганта – таблица 16.



Таблица 16 – Календарный план-график проведения НИОКР [27]

Вид работы	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , дне й	Продолжительность выполнения работ											
			февраль		март			апрель			март			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3												
Выбор направления исследований	Руководитель, Исполнитель	2												
Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	18												
Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Исполнитель	2												
Анализ накопленного опыта применения	Руководитель, Исполнитель	4												
Подбор оптимальных параметров.	Исполнитель	38												
Оценка прироста дебита нефти	Руководитель, Исполнитель	6												
Оценка полученных результатов	Руководитель, Исполнитель	4												
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, Исполнитель	4												
Составление пояснительной записки	Исполнитель	18												

Руководитель		Исполнитель	
--------------	--	-------------	--

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

#### 4.3.1 Расчет затрат на оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 17). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ [2]

Наименование оборудования	Ед. изм.	Кол-во единиц оборудования			Цена ед. оборудования, тыс. Руб.			Цена ед. оборудования, тыс. Руб.		
		Разработка	Аналог 1	Аналог 2	Разработка	Аналог 1	Аналог 2	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
ПК	шт	2	2	3	50	50	50	100	100	150
Программное обеспечение Micromine	шт	1	2	3	90	90	90	90	180	270
ИТОГО:								190	280	420

В смете затрат оборудование учитывается по амортизации. Сумма амортизационных отчислений техники и оборудования определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов, и утвержденных в установленном порядке норм амортизации. Расчет амортизационных отчислений можно свести в таблицу 18.

Таблица 18 – Расчет амортизационных отчислений [27]

Наименование оборудования	Норма амортизации	Стоимость, руб.			Период использования дней			Сумма амортизации, руб.		
		Разработка	Аналог 1	Аналог 2	Разработка	Аналог 1	Аналог 2	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
ПК	2,78	100000	100000	150000	91	100	110	8287,8	9107,46	15027,3
Программное обеспечение: Micromine	4,17	90000	180000	270000	6	6	6	737,7	1475,4	2213,11
ИТОГО:								9025,5	10582,86	17240,41

В соответствии с классификацией персональные компьютеры отнесены к 2-ой амортизационной группе, для которой СПИ установлен свыше 2 до 3 лет включительно.

#### 4.3.2 Основная заработная плата исполнителей

Расходы по заработной плате определяются по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок. В основную заработную плату вносится премия, которая выплачивается каждый месяц в размере 20 –30 % от оклада.

Заработная плата инженера-проектировщика:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  - основная заработная плата

$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} * 0,15$  – дополнительная заработная плата [27].

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} + T_p, \quad (10)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  - среднедневная заработная плата

$T_p$  - суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим сотрудником.

Размер средней заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M * M}{F_d}, \quad (11)$$

где  $Z_M$  - заработная плата за 1 месяц;

$M$  - количество месяцев работы без отпуска; при отпуске в 24 раб. Дня  $M=11,2$  месяца, при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 19).

Таблица 19 – Баланс рабочего времени [27]

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные)	66	118
Потери рабочего времени		
– отпуск	56	28
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Заработная плата научно-технического специалиста рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p, \quad (12)$$

где  $Z_{TC}$  - заработная плата по тарифной ставке

$k_{пр}$  - премиальный коэффициент 0,3;

$k_d$  - коэффициент надбавок и доплат 0,2;

$k_p$  - районный коэффициент (для Томска 1,3).

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату исполнителя НТИ.

$$Z_M = Z_{TC} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p = 15000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 27000 \text{руб};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M * M}{F_d} = \frac{27000 * 11,2}{219} = 1380,8 \text{руб};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p = 1380,8 * 65 = 89753,4 \text{руб};$$

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} * 0,15 + Z_{осн} = 89753,4 + 0,15 * 89753,4 = 103216,4 \text{руб}.$$

Руководитель имеет оклад равный 30000 рубля. С учётом этого, рассчитаем размер основной заработной платы руководителя НТИ:

$$Z_M = Z_{TC} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p = 30000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 58500 \text{ руб};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M * M}{F_d} = \frac{58500 * 10,4}{243} = 2503,7 \text{ руб};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p = 2503,7 * 26 = 65096,3 \text{ руб};$$

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} * 0,15 + Z_{осн} = 65096,3 + 0,15 * 65096,3 = 74860,7 \text{ руб}.$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (13)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Отчисления во внебюджетные фонды [27]

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Исполнитель	89753,4	13463,0
Руководитель	65096,3	9764,4
Коэффициент отчислений	0,302	
Итого	$Z_{внеб} = 0,302 * (89753,4 + 13463,0 + 65096,3 + 9764,4) = 53423,13 \text{ руб}.$	

#### 4.3.3 Расчет накладных расходов

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов. Накладные расходы находятся по выражению:

$$Z_{накл} = (\text{Сумма статей} - 5) * k_{нр}, \quad (14)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент учитывающий накладные расходы.

$$Z_{накл \text{ разр.}} = (\text{Сумма статей} - 5) * k_{нр} = (190000 + 9025,5 + 103216,4 + 74860,7 + 53423,13) * 0,16 = 68884,1 \text{ руб}.$$

$$Z_{накл. \text{ ан.1}} = (\text{Сумма статей} - 5) * k_{нр} = (280000 + 9025,5 + 103216,4 + 74860,7 + 53423,13) * 0,16 = 83284,1 \text{ руб}.$$

$$Z_{\text{накл.ан.2}} = (\text{Сумма статей} - 5) * k_{\text{нр}} = (420000 + 9025,5 + 103216,4 + 74860,7 + 53423,13) * 0,16 = 105684,1 \text{ руб.}$$

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанные затраты научно-исследовательской работы – основа для определения бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 21.

Таблица 21 – Бюджет затрат НТИ [27]

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Расчет амортизационных отчислений	9025,5	10582,86	17240,41
Расчет затрат на заработную плату инженера	103216,4		
Расчет затрат на заработную плату руководителя	74860,7		
Расчет затрат на отчисления в внебюджетные фонды	53423,13		
Расчет накладных расходов	68884,1	83284,1	105684,1
Бюджет затрат НТИ	309409,83	325367,2	354424,7

Из данных таблицы видно, что большую долю всех затрат из бюджета научно-технического исследования составляют заработные платы инженера и руководителя. Самые малые доли от общих затрат имеют материальные затраты НТИ и амортизационные отчисления. Все затраты проекта могут быть реализованы, так как оказались ожидаемы.

#### **4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

##### **4.4.1 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и финансовой эффективности проводимого исследования**

Оценка сравнительной эффективности исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{разраб}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (15)$$

где  $I_{\text{разраб}}$  – интегральный финансовый показатель разработки

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательской работы (в т.ч. аналог).

$$I_{\text{ан.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (16)$$

$$I_{\text{ан.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (17)$$

где  $I_{\text{алт1}}$  и  $I_{\text{алт2}}$  – интегральный финансовый показатель альтернативных исследований.

$$I_{\text{разраб}} = \frac{309409,83}{354424,7} = 0,87$$

$$I_{\text{ан.1}} = \frac{325367,2}{354424,7} = 0,9$$

$$I_{\text{ан.2}} = \frac{354424,7}{354424,7} = 1$$

где  $I_{\text{разраб}}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$I_{\text{алт1}}$  и  $I_{\text{алт2}}$  – интегральный финансовый показатель альтернативных исследований;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательской работы (в т.ч. аналог).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i + b_i^a, \quad (18)$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i + b_i^p, \quad (19)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a$  ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта [27]

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	2	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,2	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1	26	19	21

$$I_{\text{разр}} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,01 = 3,94$$

$$I_{\text{анал.1}} = 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 = 3,15$$

$$I_{\text{анал.2}} = 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 = 3,5$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^{\text{анал.}}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad (20)$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}}, \quad (21)$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}}, \quad (22)$$

где  $I_{\text{финр}}^p$  – интегральный показатель эффективности разработки;

$I_{\text{финр}}^{a1}$  – интегральный показатель эффективности разработки аналога 1;

$I_{\text{финр}}^{a2}$  – интегральный показатель эффективности разработки аналога 2.



$$I_{\text{финр}}^p = \frac{3,94}{0,87} = 4,53$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{3,15}{0,9} = 2,84$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{3,5}{1} = 3,5$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 14) [27].

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a1}}, \quad (23)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a2}}, \quad (24)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта.

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{4,53}{2,84} = 1,59$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{4,53}{3,5} = 1,29$$

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки [27]

Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,87	0,9	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,94	3,15	3,5
Интегральный показатель Эффективности	4,53	2,84	3,5
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,59	1,29	

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

1) Выявлены потенциальные потребители результатов исследования – недропользователи месторождений Западной Сибири.

2) Проведён анализ конкурентных технических решений. Проведено сравнение с конкурентами (ОПЗ, ДП). Из проведенного анализа можно сделать вывод, что значительно более высокая эффективность, не смотря на большую стоимость, делают данную технологию оптимальной, на большинстве месторождений Западной Сибири.

3) В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: аварии по вине персонала и дефицит флотов ГРП на рынке услуг. Возможные пути снижения влияния выявленных угроз представлены в подразделе 5.1.3.

4) При планировании НТИ создан список этапов работ в рамках проектирования научного исследования, распределены исполнители по типам работ, а также разработан алгоритм составления этапов работ.

5) Трудовые затраты составляют основную часть от стоимости разработки, при определении трудоемкости выполнения научного исследования и разработке графика проведения научных работ было установлено 64,5 рабочих дней, 96,7 календарных.

6) При использовании разработка исполнения потребуется 309409,83 руб. – это наименьший показатель среди трех рассмотренных вариантов.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Б73Т	Кульбака Анастасия Викторовна

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление</b>	21.03.01 «Нефтегазовое дело»»
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Тема выпускной квалификационной работы: «Комплексный подход к выбору технологии гидравлического разрыва пласта на нефтяных месторождениях»</b>			
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения		Объектом исследования являются технологии проведения гидравлического разрыва пласта.	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
<b>1. Производственная безопасность</b>		Вредные факторы: недостаточная освещенность; нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; Опасные факторы: электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R <sub>заземления</sub> , СКЗ, СИЗ; проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.	
1.1. Анализ выявленных вредных факторов – природа воздействия – действие на организм человека – нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) – СИЗ коллективные и индивидуальные			
1.2. Анализ выявленных опасных факторов: – термические источники опасности – электробезопасность – пожаробезопасности			
<b>2. Экологическая безопасность:</b> – выбросы в окружающую среду – решения по обеспечению экологической безопасности		Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;	
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>		Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия	
1) перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 2) разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3) разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.			

	по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
<b>4. Перечень нормативно-технической документации.</b>	<b>ГОСТы, СНиПы, СанПиНы</b>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	26.04.2021 г.
---	---------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.04.2021 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Б73Т	Кульбака Анастасия Викторовна		26.04.2021 г.

## **5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Социальная ответственность – ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В ходе данной работы проведена разработка и исследование высокоэффективного источника питания для телекоммуникационного оборудования. Работа выполнялась в лаборатории ИОА СО РАН. Все работы выполнялись с использования компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

### **5.1 Производственная безопасность**

#### **5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов**

##### **5.1.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 24 и 25.

Таблица 24 - Оптимальные нормы микроклимата [28]

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0,1
Теплый	23-25		0,1

Таблица 25 - Допустимые нормы микроклимата [28]

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0,5
Теплый	22	28	20-80	<0,5

Температура в теплый период года 23-25°С, в холодный период года 19-23°С, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Общая площадь рабочего помещения составляет 42м<sup>2</sup>, объем составляет 147м<sup>3</sup>. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [28] санитарные нормы составляют 6,5 м<sup>2</sup> и 20 м<sup>3</sup> объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостатком - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем

воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м<sup>3</sup>. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м<sup>3</sup>, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно . Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям.

### **5.1.1.2 Превышение уровней шума**

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

Средства индивидуальной защиты:

– применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

### **5.1.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 [29] и ГОСТ 12.1.010 – 76 [30]).

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83):

а) до 10 мкВт/см<sup>2</sup>, время работы (8 часов);

б) от 10 до 100 мкВт/см<sup>2</sup>, время работы не более 2 часов;



в) от 100 до 1000 мкВт/см<sup>2</sup>, время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;

г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см<sup>2</sup> [31].

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

#### СКЗ

– защита временем;

– защита расстоянием;

– снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;

– экранирование источника;

– защита рабочего места от излучения;

#### СИЗ

– Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

– Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO<sub>2</sub>).

### **5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов**

#### **5.1.2.1 Поражение электрическим током**

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и

возможность одновременного соприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования.

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются:  $I$  меньше 0,1 А;  $U$  меньше (2-36) В;  $R_{\text{зазем}}$  меньше 4 Ом. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое, необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

- обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот);
- очистить дыхательные пути;
- приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание);
- в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае:

- возникновения угрозы жизни или здоровью человека;

- появления запаха, характерного для горячей изоляции или пластмассы;
- появления дыма или огня;
- появления искрения;
- обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

- зануление источников электрического тока;
- заземление электрооборудования;
- разделение электроцепей с помощью трансформаторов;
- использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты:

- Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

### **5.1.2.2 Освещение на рабочем месте**

Согласно СП 52.13330.2016 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 Лк [32].

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в

поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 7$  м, ширина  $B = 6$  м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1,0$  м. Согласно ГОСТ Р 55710-2013 [33] необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (25)$$

где  $A$  – длина, м;

$B$  – ширина, м.

$$S = 7 \times 6 = 42 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{\text{п}} = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{лд}} = 2600$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной

решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda=1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (26)$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_n - h_c, \quad (27)$$

где  $H$  – высота, равная 3,5 м.

$$h = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h, \quad (28)$$

где  $\lambda$  – Интегральный критерий оптимальности расположения светильников.

$$L = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = B/L, \quad (29)$$

где  $B$  – ширина, м

$$N_b = 6/2,2 \sim 3$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = A/L, \quad (30)$$

где  $A$  – длина, м.

$$N_a = 7/2,2 = 3,2 \sim 3$$

Общее число светильников:

$$N = N_a * N_b, \quad (31)$$

$$N = 3 * 3 = 9$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = L/3, \quad (32)$$

$$l = 2,2/3 = 0,7 \text{ м} = 700 \text{ мм}$$

Размещаем светильники в три ряда. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

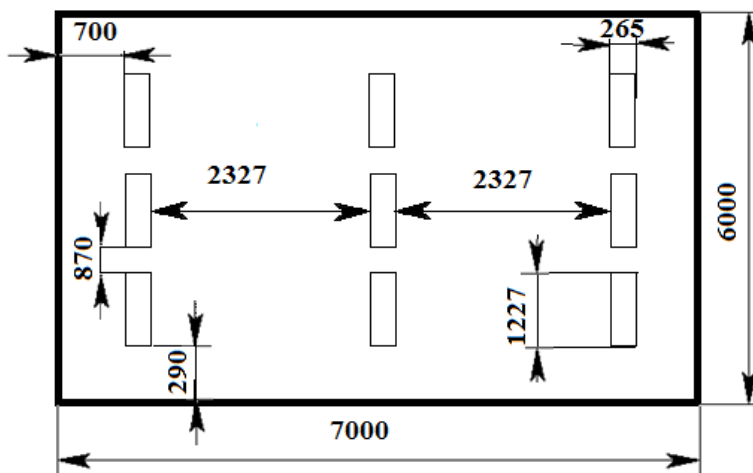


Рисунок 31 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами [34]

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = A * B / (h(A + B)), \quad (33)$$

$$i = 7 * 6 / (2 * (7 + 6)) = 1,6$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_{\text{П}} = 70 \%$ ,  $\rho_{\text{С}} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,6$  равен  $\eta = 0,47$ .

Потребный световой поток люминесцентных ламп ЛД-40 светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = (E * S * K_3 * Z) / N * \eta, \quad (34)$$

где  $E$  – освещенность, Лк;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$Z$  – коэффициент неравномерности;

$\Pi$  – коэффициент использования светового потока.

$$\Phi_{\text{л}} = (300 \cdot 42 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 18 \cdot 0,47 = 2457,44 \text{ Лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2457,44}{2600} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 18 \cdot 40 = 720 \text{ Вт} \quad [34] \quad (35)$$

### 5.1.2.3 Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 [35] лаборатория относится к категории В–горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СП 112.13330.2011 [36] (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

– специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 [37] и СНиП 41-01-2003 [38];

– специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

– первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);



– автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений дозрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 2, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.



Рисунок 32 – План эвакуации [35]

### 5.2.1 Экологическая безопасность

На рабочем месте присутствует следующее оборудование: персональный компьютер, бумага.

Большая часть бумажных отходов либо утилизируется как макулатура, либо сжигается (документы, содержащие конфиденциальную информацию). В основном, скопившаяся макулатура, измельчается с помощью shreddного устройства, прессуется, упаковывается и сохраняется на складе до достижения объемов экономически эффективных для транспортировки, после этого

макулатура отправляется для дальнейшей переработки в Сибирскую перерабатывающую компанию, расположенную по адресу: г. Томск, Академический проспект 8/7.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, ртуть, свинец, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы.

При правильной эксплуатации перечисленные металлы не несут опасности для человека и окружающей его среды. Однако при неправильной утилизации вышеперечисленные металлы переходят в органические и растворимые соединения и становятся ядами. Для минимизации отрицательного влияния компонентов компьютерной техники существует специальная процедура утилизации, которая регламентируется Федеральным законом от 10 января 2002 г. №7 [39]. Правильно реализованная система утилизации сводит к минимуму неперерабатываемые отходы, а также возвращает в производство основные материалы и ценные компоненты.

Для этого вышедшую из строя не ремонтируемую оргтехнику разбирают на комплектующие, классифицируют (черный металл, цветной металл, пластмасса) при необходимости прессуют, упаковывают в жесткую упаковку, хранят на складе до накопления экономически эффективного количества при транспортировке и направляют на соответствующие предприятия, утилизирующие вторичные ресурсы. В Томске таким предприятием является АО «Полигон», расположенное по адресу: ул. Железнодорожная, д. 3.

Осветительные приборы дневного света содержат в себе определенное количество ртути. Поэтому их также называют ртутными, или ртутьсодержащими. Наличие в устройстве токсичного металла диктует особые правила обращения и утилизации люминесцентных ламп.

Отходы, содержащие ртуть – это отходы 1 класса опасности. Содержание этого металла в разных видах ртутных осветительных устройствах варьируется в пределах от 1 мг до 70 мг ртути.

Утилизация люминесцентных ламп производится по мере их накопления. Для формирования партии отработанных ламп производятся их сбор, накопление и временное хранение. При этом хранение осуществляется в специально выделенном для этой цели помещении, расположенном отдельно от производственных и бытовых помещений, хорошо проветриваемом, защищенном от химически агрессивных веществ, атмосферных осадков, поверхностных и грунтовых вод, двери надежно запираются на замок. Хранят упакованные отработанные ртутьсодержащие лампы в герметичной металлической специальной таре (контейнерах) с табличками «Отход 1 класс опасности. Отработанные ртутьсодержащие лампы». Упаковка ламп по своему назначению классифицируется так:

- внутренняя упаковка;
- транспортная тара;
- средства амортизации и крепления ламп в транспортной таре.

Средства амортизации и крепления в транспортной таре (бумага, газеты, полиэтиленовая пленка и т.п., кроме стружки) служат для защиты от ударов при хранении и транспортировании отработанных ламп [40].

Утилизация люминесцентных ламп также производится способом демеркуризации на специализированном предприятии АО «Полигон» в г. Томске по адресу: ул. Железнодорожная, д. 3.

Процесс проведения гидравлического разрыва пласта может оказать негативную роль на экологическую безопасность нашей земли. Наибольшую угрозу представляют аварии, которые возникают при проведении гидравлического разрыва пласта и могут привести к загрязнению окружающей среды.

Влияние на литосферу. При разработке месторождения (бурения скважин, добычи, проведения гидроразрыва пласта) возможны выбросы пластовой жидкости на поверхность.

В целях рационального использования недр и их охраны от негативного воздействия предусматривается:

- использование при строительстве новых скважин малотоксичных химреагентов IV класса опасности (буровой раствор полимерный, буровой раствор на основе КМЦ и т.д.)
- изоляция водоносных и нефтегазоносных пластов цементированием заколонного пространства;
- закачка в продуктивные нефтяные пласты минерализованной воды взамен изымаемой из пласта нефти;
- изъятие подземных вод в количествах, обеспечивающих сохранность основных свойств используемых водоносных пластов;
- сбор и обезвреживание отходов буровых работ;
- осуществление консервации или ликвидации скважин по индивидуальному плану, согласованному с местными органами Госгортехнадзора и военизированным отрядом по предупреждению и ликвидации открытых фонтанов.

Влияние на гидросферу. Благодаря немногочисленности скважин на кустовых площадках и равномерности распределения по месторождению объектов обустройства влияние возможного поступления токсичных веществ в гидросферу будет носить локальный характер.

С целью минимизации воздействия и предохранения подземных вод от загрязнения предусмотрено концентрированное размещение скважин в кустовом основании, что позволяет сократить площадные размеры техногенного вторжения и сосредоточить проведение комплекса природоохранных мероприятий и регламентных работ на участках, доступных для эффективного контроля.

Влияние на атмосферу. При проведении операций возможен выброс опасных (токсичных) веществ в атмосферу. Основные выбрасываемые в атмосферу вредные примеси от нефтегазовых комплексов – это кислые компоненты (оксиды углерода, серы и азота, сероводрод), УВ и их производные

и твердые частицы. Производственные отходы, возникающие на нефтегазопромыслах, подлежат к сжиганию на факельных установках, в результате чего в атмосферу выделяются вредные компоненты. Существенное влияние на атмосферу среди данных компонентов оказывает формальдегид, который имеет резкий запах и высокую токсичность, и диоксид серы, выделяющийся при сжигании угля или нефти с высоким содержанием серы. Необходимо тщательно проверять все оборудование, чтобы предотвратить возможные утечки. Работающий персонал должен четко знать правила труда на предприятии.

### **5.3.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

В Сибири в зимнее время наблюдается низкая температура. При критически низких температурах может произойти авария систем теплоснабжения, электроснабжения, водоводоснабжения и транспорта. В таком случае должно быть предусмотрено количество обогревателей, необходимых для продолжения трудового процесса.

Меры по предупреждению ЧС:

– повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

– использование запасных автономных источников теплоснабжения, заглубления теплотрасс.

– обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования водопитания, кольцевание системы, заглубление водопроводов, обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

– обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

– обеспечение запаса воды на складе предприятия (30 – 50 литров).

В лаборатории ИОА СО РАН наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

## Заключение

В данной работе были рассмотрены новые технологии проведения ГРП, виды расклинивающих материалов, а также новые технологии в области проппантов.

Для шельфовых месторождений с глубокозалегающими коллекторами был разработан сверхпрочный проппант, выдерживающий давление до 138 МПа. Цилиндрический проппант применяется в скважинах, в которых ранее происходил вынос расклинивающего агента из трещины. Проблема осаждения проппанта в жидкости ГРП была решена за счет внедрения технологии самосуспендирующегося проппанта. Использование пористого проппанта, поры которого заполнены ингибитором, позволило предотвратить образование солевых отложений по пути движения скважинной продукции. В свою очередь, проппант с модификатором относительной проницаемости и нейтральной смачиваемостью позволяет увеличить добычу нефти, за счет того, что ни одна из фаз не удерживается в проппантной пачке.

Кроме того, был выполнен расчет необходимого количества проппантов для проведения ГРП на месторождении Рыбальное. По итогам расчетов запланированные результаты подтвердились фактическими расчетными данными. Использование проппанта Fores Керамический 16/20 и проппанта Fores Полимерный 12/18 RCP для ГРП на месторождении Рыбальное показало хорошие результаты. После проведения ГРП проницаемость пласта увеличилась, дебит скважины вырос на 10,5 м<sup>3</sup>/сут.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Магадова Л.А. Нефтепромысловая химия. Технологические аспекты и материалы для гидроразрыва пласта: Учеб. пособие для вузов / Л.А. Магадова, М.А. Силин, В.Н. Глущенко. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012 – 423 с.: ил.

2. Исследование долговременной проводимости пропантов различных производителей: научно-технический отчет о выполнении НИР / РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина // Михайлов С.А., Магадов В.Р.; рук. Магадова Л.А. – М., 2011. – 89 с.

3. Иванов С.И. Интенсификация притока нефти и газа к скважинам: Учеб. пособие / С.И. Иванов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 565 с.: ил.

4. ISO 13503-2:2006. Международный (зарубежный) стандарт. Промышленность нефтяная и газовая. Растворы и материалы для вскрытия продуктивного пласта. Часть 2. Измерение свойств расклинивающих наполнителей, используемых для гидравлического разрыва пласта и заполнения скважинного фильтра гравием.

5. API Recommended Practices 56. Recommended Practices for Testing Sand Used in Hydraulic Fracturing Operations. – Second edition, December 1995.

6. ГОСТ Р 54571-2011. Пропанты магнизиально-кварцевые. Технические условия. - Москва: Стандартинформ, 2011.

7. ГОСТ Р 51761-2013. Пропанты алюмосиликатные. Технические условия. - Москва: Стандартинформ, 2013.

8. Пресс-служба/СМИ о нас от 7 августа 2017 г. Официальный сайт ПАО НК «РуссНефть» [Электронный ресурс] // URL: <https://russneft.ru/pressabout/?id=202067> (дата обращения: 01.05.2021).

9. Машорин В.А., Бурдин К.В. Первое в России успешное применение технологии гидроразрыва пласта без подъема ГНКТ на поверхность при проведении многотоннажных МГРП / В.А. Машорин, И.А. Сахипова, Е.А.



Уфимцев, АО «НК «Конданефть», К.В. Бурдин, М.А. Демкович, К.А. Стародубцева, «Шлюмберже» // журнал «Время колтюбинга». – 2018, сентябрь. – № 3 (065). – С. 36-41.

10. Скурихин В.В., Мигаль В.П. Выбор проппанта: критерии отбора / В.В. Скурихин, В.П. Мигаль. – М.: ОАО «Боровичский комбинатогнеупоров», журнал «Нефтяное хозяйство». – 2008, январь. – с. 90-93.

11. API Recommended Practices 60. Recommended Practices for Testing High Strength Proppants Used in Hydraulic Fracturing Operations. – Second edition, December 1995.

12. API Recommended Practices 61. Recommended Practices for Evaluating Short Term Proppant Pack Conductivity. - First edition, October 1, 1989.

13. API Recommended Practices 58. Recommended Practices for Testing Sand Used in Gravel Packing Operations. - Second edition, December 1995.

14. Smith, M.B. Hydraulic Fracturing / M.B. Smith, C.T. Montgomery. – CRC Press. – 2015. – 777 p.

15. F. Liang, M. Sayed, G. Al-Muntasheri, F.F. Chang. Overview of Existing Proppant Technologies and Challenges // SPE-172763-MS. – 2015. – 34 p.

16. Belyadi, H. Hydraulic Fracturing in Unconventional Reservoirs. Theories, Operations and Economic Analysis / H. Belyadi, E. Fathi, F. Belyadi. – Gulf Professional Publishing. – 2017. – 421 p.

17. Palisch, T. Proppant Selection in Unconventional Reservoirs [Электронный ресурс]: Презентация Carbo Ceramics // URL: <https://fddocuments.in/document/proppant-selection-in-unconventional-introduction-proppants-proppant-selection.html> (дата обращения: 01.05.2021).

18. T. Palisch, B. Duenckel, B. Wilson. New Technology Yields Ultrahigh-Strength Proppant // SPE Production & Operations. – 2015. – Vol. 30, Issue 01. – p. 76-81.

19. Р. Каюмов, А. Конченко, О. Неввонен, В. Фирсов, М. Кузнецов, И. Титов, З. Калудер. Первое применение цилиндрического проппанта для гидравлического разрыва пласта в России // SPE-160242-RU. – 2012. – 18 p.

20. А. Валиуллин, В. Макиенко, А. Оверин, А. Юдин, А. Громовенко. Первый опыт применения цилиндрического проппанта при гидроразрыве на месторождениях Западной Сибири // SPE-176540-RU. – 2015. – 12 с.
21. Y. Liu, E. Fonseca, C. Hackbarth, R. Hulseman, K.N. Tackett II. A New Generation High-drag Proppant: Prototype Development, Laboratory Testing, and Hydraulic Fracturing Modeling // SPE-173338-MS. – 2015. – 6 p.
22. R.P. Mahoney, D. Soane, K.P. Kincaid, M. Herring, P.M. Snider. Self-Suspending Proppant // SPE-163818-MS. – 2013. – 12 p.
23. Propel SSP Technical Data Sheet [Электронный ресурс] // URL: <https://propelssp.com/wp-content/uploads/2017/01/PropelSSP-PropelSSP350-TDS.pdf> (дата обращения: 01.05.2021).
24. RPM Brochure [Электронный ресурс] // URL: [http://carbofailover.cloudapp.net/Oil-gas/Fracture-technologies/proppant-delivered-flow-enhancement-\(1\)/RPM-relative-permeability-modification-technology](http://carbofailover.cloudapp.net/Oil-gas/Fracture-technologies/proppant-delivered-flow-enhancement-(1)/RPM-relative-permeability-modification-technology) (дата обращения: 01.05.2021).
25. Отчет компании ООО «Ньютех Велл Сервис» для АО «Газпром добыча Томск», 2021 г.
26. Усачев, П. М. Гидравлический разрыв пласта: Учеб. пособие / П. М. Усачев. – М.: Недра, 1986. – 164 с.
27. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницкая; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36с.
28. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ, 2003г.
29. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. – Москва: Госстандарт СССР, 1991.

30. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования. – Москва: Госстандарт СССР, 1978.
31. ОСТ 54 30013-83 Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности.
32. Свод правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*». – Москва: Росстандарт, 2016.
33. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. – Москва: Стандартинформ, 2013.
34. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
35. НПБ 105-03 «Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (утв. приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314).
36. СП 112.13330.2011 «Строительные нормы и правила Российской Федерации. Пожарная безопасность зданий и сооружений. СНиП 21-01-97\*». – Москва: Росстандарт, 2011.
37. ГОСТ 12.4.021-75. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования. – Москва: Госстрой СССР, 1975.
38. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Москва: Госстрой России, 2004.
39. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ.
40. Статья «О порядке обращения с ртутьсодержащими отходами» от 17 мая 2018 г. Официальный сайт Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области [Электронный ресурс] // URL: <https://depnature.tomsk.gov.ru/news/front/view/id/29004> (дата обращения: 25.05.2021).