



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 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА**

Тема работы
Исследование механизмов обводнения скважин и борьба с ними на примере фаменского карбонатного резервуара месторождения X (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция)

УДК: 622.276.58(470.13)

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич		21.08.2023

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Матвеев Иван Васильевич	к.ф.-м.н.		21.08.2023

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рукавишников Валерий Сергеевич	PhD		21.08.2023

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		21.08.2023

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова Оксана Сергеевна	д.г.-м.н.		21.08.2023

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

### Petroleum Engineering / Нефтегазовый инжиниринг

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного анализа, вырабатывать стратегию действий	И.УК(У)-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
		И.УК(У)-1.2. Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению
		И.УК(У)-1.3. Разрабатывает стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и других современных междисциплинарных подходов; обосновывает выбор темы исследований на основе анализа явлений и процессов в конкретной области научного знания
		И.УК(У)-1.4. Использует логико-методологический инструментарий для критической оценки современных концепций в своей предметной области
Разработка и реализация проектов	УК(У)-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	И.УК(У)-2.1. Определяет проблему и способ ее решения через реализацию проектного управления
		И.УК(У)-2.2. Разрабатывает концепцию проекта в рамках обозначенной проблемы: формулирует цель, задачи, обосновывает актуальность, значимость, ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
		И.УК(У)-2.3. Осуществляет мониторинг за ходом реализации проекта, корректирует отклонения, вносит дополнительные изменения в план реализации проекта
Командная работа и	УК(У)-3. Способен организовывать и руководить	И.УК(У)-3.1. Планирует и корректирует свою социальную и

лидерство	работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	профессиональную деятельность с учетом интересов, особенностей поведения и мнений людей, с которыми работает и взаимодействует
		<b>И.УК(У)-3.2.</b> Организует дискуссии по заданной теме и обсуждение результатов работы команды
		<b>И.УК(У)-3.3.</b> Планирует командную работу, распределяет поручения и делегирует полномочия членам команды
Коммуникация	<b>УК(У)-4.</b> Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	<b>И.УК(У)-4.1.</b> Решает конкретные задачи профессиональной деятельности на основе академического и профессионального взаимодействия с учетом анализа мнений, предложений, идей отечественных и зарубежных коллег
		<b>И.УК(У)-4.2.</b> Составляет, переводит и редактирует различные академические тексты (рефераты, эссе, обзоры, статьи и т.д.)
		<b>И.УК(У)-4.3.</b> Представляет результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
		<b>И.УК(У)-4.4.</b> Планирует и организывает совещания, деловые беседы, дискуссии по заданной теме; аргументированно и конструктивно отстаивает свою точку зрения, позицию, идею в академических и профессиональных дискуссиях на государственном и иностранном языках
Межкультурное взаимодействие	<b>УК(У)-5.</b> Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	<b>И.УК(У)-5.1.</b> Осуществляет профессиональную и социальную деятельность с учетом особенностей поведения и мотивации людей различного социального и культурного происхождения, в том числе особенностей деловой и общей культуры представителей других

		<p>этносов и конфессий</p> <p><b>И.УК(У)-5.2.</b> Выстраивает социальное и профессиональное взаимодействие с учетом особенностей деловой и общей культуры представителей разных этносов и конфессий, других социальных групп</p> <p><b>И.УК(У)-5.3.</b> Обеспечивает создание недискриминационной среды для участников межкультурного взаимодействия при личном общении и при выполнении профессиональных задач</p>
<p>Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровье сбережение)</p>	<p><b>УК(У)-6.</b> Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки</p>	<p><b>И.УК(У)-6.1.</b> Анализирует использование рабочего времени в широком спектре деятельности: планирование, распределение, постановка целей, делегирование полномочий, анализ временных затрат, мониторинг, организация, составление списков и расстановка приоритетов</p> <p><b>И.УК(У)-6.2.</b> Сочетает выполнение текущих производственных задач с повышением квалификации; корректирует планы в соответствии с имеющимися ресурсами</p> <p><b>И.УК(У)-6.3.</b> Планирует профессиональную траекторию с учетом особенностей как профессиональной, так и других видов деятельности и требований рынка труда</p>



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 (ООП/ОПОП) 21.04.01 Нефтегазовое дело

Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

*(Подпись)* 11.05.2023 *(Ф.И.О.)*

(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич

Тема работы:

<b>Исследование механизмов обводнения скважин и борьба с ними на примере фаменского карбонатного резервуара месторождения X (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция)</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№160-39/с от 09.06.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	20.08.2023
--	------------

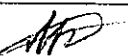
### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	<i>Комплект документов по месторождению X, включая геолого-геофизическое описание объекта исследования, характеристики пластов, физико-химические свойства пластовых флюидов, секторную гидродинамическую модель и описание проведенных РИР.</i>
---	--

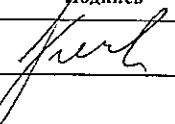
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</p>	<p>1. Введение; 2. Исследование механизмов обводнения скважин и методов борьбы с ними; 3. Геолого-геофизическая характеристика объекта исследования; 4. Исследование применения БРИР на примере фаменского карбонатного резервуара; 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 6. Социальная ответственность; 7. Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Объемный гель в поровом пространстве; Дисперсный гель в поровом пространстве; Кривые ОФП и капиллярная кривая; Локальное измельчение (скв. №1,2,3); Зависимость множителя проницаемости от концентрации полимерного раствора; Распределение концентрации полимера (скв. №1,2,3); Зона с измененным множителем проницаемости (скв. №1,2,3); Динамика показателей разработки (скв. №1,2,3).</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рукавишников В. С., доцент, PhD</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин А. А., доцент, к.т.н.</p>
<p>Раздел на иностранном языке</p>	<p>Болсуновская Л. М., доцент, к.ф.н</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b></p>	
<p>Analysis of water influx mechanisms in wells and methods to prevent them</p>	

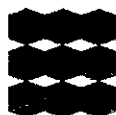
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>11.05.2023</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Матвеев Иван Васильевич	к.ф.-м.н.		11.05.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич		11.05.2023



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 (ООП/ОПОП): 21.04.01 Нефтегазовое дело  
Уровень образования: Магистратура  
Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела  
Период выполнения: осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич

Тема работы:

<b>Исследование механизмов обводнения скважин и борьба с ними на примере фаменского карбонатного резервуара месторождения X (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция)</b>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.05.2023	1. Исследование механизмов обводнения скважин и методов борьбы с ними	15
22.05.2023	2. Геолого-физическая характеристика объекта исследования	15
10.06.2023	3. Исследование применения БРИР на примере фаменского карбонатного резервуара	30
16.06.2023	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
21.06.2023	5. Социальная ответственность	10
30.06.2023	Analysis of water influx mechanisms in wells and methods to prevent them	15

**СОСТАВИЛ:**

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Матвеев Иван Васильевич	к.ф.-м.н.		11.05.2023

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова Оксана Сергеевна	д.г.-м.н.		11.05.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич		11.05.2023

## РЕФЕРАТ

**Выпускная квалификационная работа** содержит 97 страниц, в том числе 33 рисунка, 15 таблиц. Список литературы включает 51 источник информации. Работа содержит 1 приложение.

**Ключевые слова:** механизмы обводнения скважин, методы борьбы с обводнением, карбонатный резервуар, большеобъемные ремонтно-изоляционные работы.

**Объектом исследования** является фаменский массивный карбонатный резервуар месторождения X.

**Предмет исследования** – механизмы обводнения и методы борьбы с ними на скважинах, эксплуатирующих массивную карбонатную залежь.

**Цель исследования** – оценка на секторных моделях причин обводнения скважин, эксплуатирующих массивную карбонатную залежь.

**Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:**

1. Провести литературный обзор существующих механизмов обводнения скважин;
2. Изучить различные методы борьбы с обводнением скважин;
3. Провести анализ результатов проведенных работ по изоляции водопритока на массивном карбонатном резервуаре месторождения X;
4. Разработать методику моделирования БРИР с помощью симуляции закачки полимерного раствора.

**Область применения:** фаменский массивный карбонатный резервуар месторождения X Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

**Экономическая эффективность работы** заключается в разработке универсальной методики моделирования БРИР, позволяющей сократить время адаптации и затраты на реализацию научно-технического проекта.

**В будущем планируется:** оптимизация методики моделирования БРИР и внедрении ее на других месторождениях со схожими физико-гидродинамическими характеристиками залежей.



**Благодарности.** Выражаю особую благодарность сотрудникам ЦППС  
НД ТПУ: профессору О. С. Черновой, доценту И. В. Матвееву,  
преподавателю С. Х. Куреленкову, консультанту О. С. Анисимовичу, а также  
Д. С. Анерт за предоставленную помощь при написании данной  
магистерской работы.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	12
1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБВОДНЕНИЯ СКВАЖИН И МЕТОДОВ БОРЬБЫ С НИМИ .....	14
1.1 Анализ механизмов обводнения скважин .....	14
1.2 Обзор технологий ограничений водопритока и ремонтно-изоляционных работ.....	17
1.3 Опыт применения различных методов ограничения водопритока.....	23
2 ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ .....	25
2.1 Общие сведения.....	25
2.2 Тектонический очерк.....	27
2.3 Стратиграфия .....	28
2.4 Нефтегазоносность .....	37
3 ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ БРИР НА ПРИМЕРЕ ФАМЕНСКОГО КАРБОНАТНОГО РЕЗЕРВУАРА .....	40
3.1 Большеобъемные ремонтно-изоляционные работы (БРИР) .....	40
3.2 Анализ исходных данных .....	43
3.3 Закачка полимерного раствора .....	45
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	55
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.....	55
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	58
4.3 Бюджет научно-технического исследования .....	59

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	66
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	66
5.2 Производственная безопасность.....	69
5.3 Экологическая безопасность.....	78
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	82
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	83
A.1 Analysis of Water Influx Mechanisms in wells .....	90
A.2 Overview of Water Influx Control Technologies and Remedial Isolation Works.....	93

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое количество месторождений находятся на последней стадии разработки. По мере добычи нефти из карбонатной залежи, возрастает доля попутно добываемой воды из-за быстрого конусообразования, вызванного высокой вертикальной проницаемостью. Высокая обводненность скважинной продукции приводит к неизбежному переводу добывающих скважин в недействующий фонд, снижая рентабельность разработки месторождения. В данной работе рассматриваются основные механизмы обводнения скважин и методы предотвращения и устранения водопритокков.

**Актуальность исследования** заключается в необходимости разработки универсальной методики проектирования БРИР на залежах с высоким риском преждевременного обводнения скважинного фонда.

**Объектом исследования** является фаменский массивный карбонатный резервуар месторождения X.

**Предмет исследования** – механизмы обводнения скважин и методы борьбы с ними на примере фаменского карбонатного резервуара.

**Цель исследования** – оценка на секторной гидродинамической модели причин обводнения скважин, эксплуатирующих массивную карбонатную залежь.

**Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:**

1. Провести литературный обзор существующих механизмов обводнения скважин;
2. Изучить различные методы борьбы с обводнением скважин;
3. Провести анализ результатов проведенных работ по изоляции водопритока на массивном карбонатном резервуаре месторождения X;
4. Разработать методику моделирования БРИР с помощью симуляции закачки полимерного раствора.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Разработка новой методики моделирования БРИР с помощью симуляции закачки полимерного раствора является более универсальным инструментом, чем методика, уже существующая и опробованная на месторождении X.

2. Предложенная методика позволяет снизить срок и затраты на реализацию проекта по моделированию БРИР на карбонатных залежах.

**Научная новизна** заключается в разработке новой универсальной методики моделирования БРИР на массивном карбонатном резервуаре месторождения X.

**Личный вклад автора** заключается в разработке новой методики моделирования БРИР с применением закачки полимерного раствора, адаптации модели на скважине-кандидате и успешном опробовании новой методики на других скважинах месторождения X. Новая методика может быть также использована на месторождениях-аналогах при оптимизации некоторых параметров.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке универсальной методики моделирования БРИР на массивной карбонатной залежи.

**Исходной информацией** для выполнения данной выпускной квалификационной работы являлся комплект документов по месторождению X, включая геолого-геофизическое описание объекта исследования, секторную гидродинамическую модель и описание проведенных РИР.

# 1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБВОДНЕНИЯ СКВАЖИН И МЕТОДОВ БОРЬБЫ С НИМИ

## 1.1 Анализ механизмов обводнения скважин

В настоящее время большое количество месторождений находится на заключительных этапах разработки, характеризующихся значительной обводненностью добываемой продукции. Из-за избыточного поступления воды в скважину, огромное количество запасов углеводородов остаются не вовлечёнными в разработку, проектируемый коэффициент извлечения нефти не достигается, и разработка такого проекта становится экономически невыгодной. Однако обводнение скважин может наступить и на более ранних этапах эксплуатации из-за различного рода геологических, гидродинамических или технологических факторов.

Основной причиной обводнения скважин считается неправильно подобранная система разработки, особенно если пласт характеризуется высокой степенью неоднородности. Например, в случае разработки залежи при водонапорном режиме, водонефтяной контакт (ВНК) постоянно движется вверх в зону перфорации скважины, что может привести к преждевременному увеличению добычи воды (Рисунок 1.1).

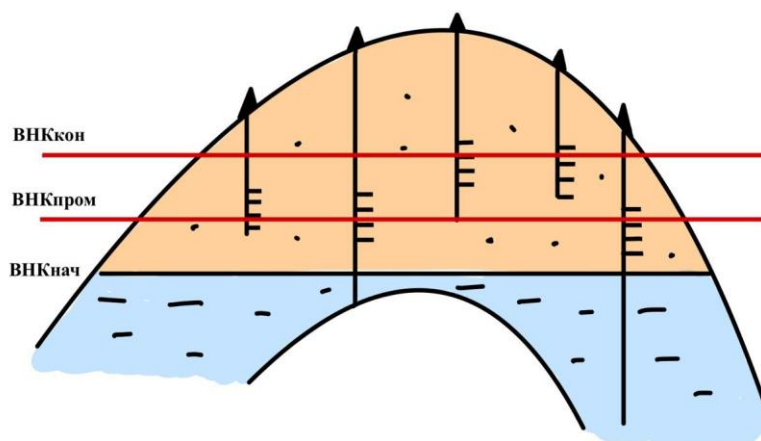


Рисунок 1.1 – Схема движения ВНК при разработке  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

Приток подошвенной воды при использовании заводнения возможен также в ситуации, когда ввиду высокой вертикальной проницаемости, вода под действием силы тяжести опускается к нижнему интервалу перфорации, и не обеспечивает вытеснение нефти из верхней части залежи. Ситуацию усугубляет большая разница в подвижностях воды и нефти - из-за повышения градиента давления в призабойной зоне добывающих скважин, возникают конусы или языки воды, что приводит к прорыву воды в скважину (Рисунок 1.2).

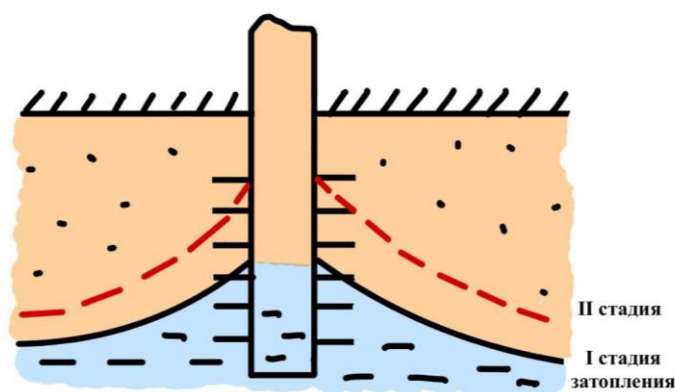


Рисунок 1.2 – Образование конуса воды [Составил: Космачев А. Н., 2023]

Еще одним геологическим фактором, влияющим на возможность обводнения скважины, является наличие высокопроницаемых пропластков, отделенных друг от друга непроницаемыми глинистыми перемычками. В случае использования заводнения для увеличения нефтеотдачи пластов, наблюдается неравномерная выработка всех запасов – вода движется быстрее по высокопроницаемому пропластку, не вытесняя при этом нефть (Рисунок 1.3).

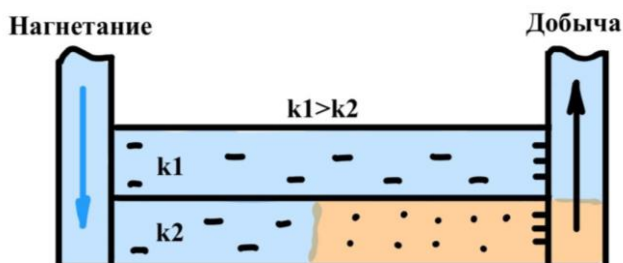


Рисунок 1.3 – Фильтрация воды и нефти в пластах с разной проницаемостью [Составил: Космачев А. Н., 2023]

В трещиноватых коллекторах прорыв воды возможен по естественным высокопроницаемым каналам – трещинам или разломам. Неудачное проектирование трещин ГРП может вызвать прорыв воды, особенно если добывающая скважина находится вблизи водоносного горизонта (Рисунок 1.4).

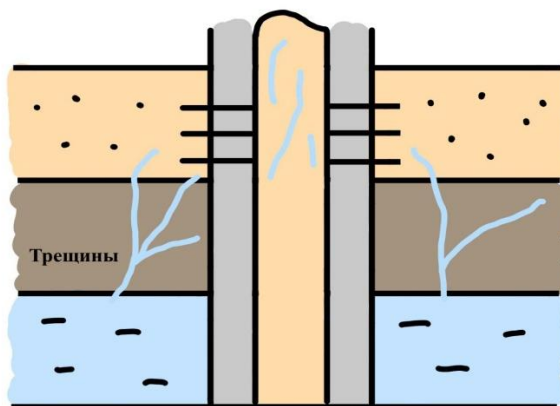


Рисунок 1.4 – Обводнение по трещинам [Составил: Космачев А. Н., 2023]

С технологической точки зрения прорыв воды может быть вызван некачественной герметизацией эксплуатационной колонны, насосно-компрессорных труб или, например, пакера (Рисунок 1.5). Наличие заколонных перетоков вследствие некачественного проведения цементировочных работ или повреждения при проведении кислотных обработок или ГРП, не только увеличивает вероятность обводнения, но и представляет серьезную угрозу для безопасности всей конструкции [39].

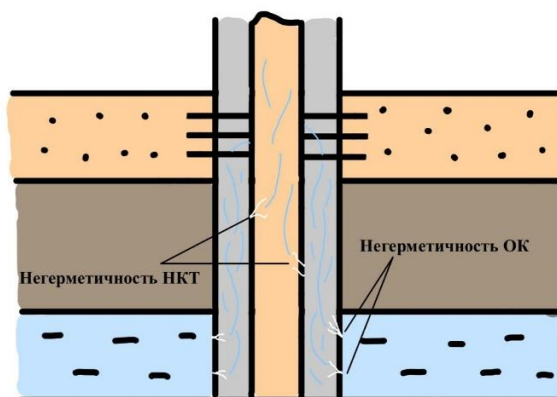


Рисунок 1.5 – Образование заколонных перетоков и прорыв воды в добывающую скважину [Составил: Космачев А. Н., 2023]



В данной выпускной квалификационной работе рассматривается проблема обводнения скважин, приуроченных к карбонатным коллекторам Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Добыча углеводородов из карбонатных резервуаров сопровождается многочисленными проблемами, поскольку они характеризуются наличием множества естественных высокопроводящих трещин и каверн, интервалов с высокими показателями неоднородности по проницаемости. Высокая степень неоднородности карбонатных пород приводит к раннему прорыву воды к добывающей скважине и быстрому увеличению обводненности скважины в короткие сроки. Своевременный контроль за обводнением скважины в таких условиях приобретает еще более важное значение, чем в терригенных отложениях [49].

## **1.2 Обзор технологий ограничений водопритока и ремонтно-изоляционных работ**

Для предупреждения преждевременного прорыва воды, в первую очередь, необходимо грамотно спроектировать систему разработки и оптимизировать режимы добычи.

Наиболее простым решением является перфорация добывающей скважины на достаточном расстоянии от начального ВНК [Guo and Lee, 1993]. Если же движение ВНК значительно, и такой простой метод не позволяет изолировать водоприток, прорыв воды можно избежать если разработка ведется с дебитом, не превышающим максимальный критический дебит конусообразования. Максимальный безводный дебит, скорости фильтрации и движение контура конуса воды могут быть спроектированы, используя решение нестационарной задачи фильтрации [Abass and Bass, 1988].

Еще одним методом борьбы с конусообразованием является технология создания обратного конуса [38]. Технология заключается в первоначальной перфорации водонасыщенного интервала пласта, после чего

производится форсированный отбор воды. С увеличением степени выработки запасов, водонефтяной контакт приближается к нижнему интервалу скважины. При форсированном отборе, также происходит движение нефти к нижней части перфорации и тем самым изолируется водонасыщенный горизонт в ПЗП. Далее перфорация изолируется, а следующую перфорацию делают уже напротив нефтенасыщенного интервала.

Для предотвращения движения воды по высокопроницаемому пласту используют методы одновременно-раздельной эксплуатации (ОРЭ). Метод ОРЭ используется для добычи нефти из двух и более нефтенасыщенных зон одной скважиной для снижения риска преждевременного обводнения и увеличения нефтеотдачи. Одновременно-раздельную эксплуатацию осуществляют с помощью оснащения скважин оборудованием, разобщающим продуктивные пласты, или путем использования скважин специальной конструкции [39].

Если же предыдущие методы ограничения водопритока не могут гарантировать исключение преждевременного обводнения, необходимо предусмотреть ремонтно-изоляционные работы.

Все ремонтно-изоляционные работы (РИР) принято классифицировать по четырем группам в зависимости от принципа их действия:

- отключение отдельных обводненных интервалов пласта; снижение обводненности продукции;
- отключение отдельных пластов при отсутствии приемистости или притока;
- исправление негерметичности цементного кольца;
- наращивание цементного кольца за эксплуатационной и промежуточной колоннами, кондуктором.

Методы ремонтно-изоляционных работ для изоляции притока воды также подразделяются на 2 основные группы: технические и физико-химические.

### 1.2.1 Технические РИР

В качестве технических методов ликвидации водопритока применяются специальные устройства и конструкции скважины, способные изолировать нижние интервалы перфорации при поднятии ВНК / образовании конуса или разобшить нефте- и водонасыщенные пласты.

В работе [45] описано применение мостовой пробки для изоляции нижней части скважины от попадания воды (Рисунок 1.6-а). Установка такого изолирующего устройства может производиться уже на начальном этапе эксплуатации скважины, на этапе завершения бурения. Пробки могут также использоваться и на нагнетательных скважинах для предотвращения попадания воды в проницаемые каналы или трещины (Рисунок 1.6-б). Также, при закачивании химических реагентов в пласт есть риск их попадания в продуктивную зону пласта, установка такого моста позволить устранить эту проблему.



Рисунок 1.6 – Схема изоляции скважины от нежелательного прорыва воды

Отключение обводненных пластов возможно с использованием колонны-летучки / колонны меньшего диаметра (Рисунок 1.7-а) или извлекаемого пластыря (Рисунок 1.7-б).

Колонна-летучка представляет собой дополнительную потайную колонну стальных труб, устанавливаемую напротив интервала негерметичности ОК. Операция по установке колонны летучки или колонны с меньшим диаметром включает в себя: спуск безмуфтовой колонны, подвешивание ее на специальный устьевой фланец, гидравлическую установку нижнего пакера. Установка колонны меньшего диаметра обладает рядом преимуществ: снижение затрат на установку, так как нет необходимости в цементировании колонны, мобильность, относительно низкая стоимость оборудования.

Извлекаемый пластырь – это стальной патрубок с приваренными на концах суженными наконечниками с резиновыми уплотнителями, предназначенный для изоляции отдельных пластов и восстановления герметичности обсадной колонны. По истечении срока службы пластырь срывается и извлекается из скважины специальными инструментами. Преимущества данного метода: сниженные сроки и стоимости работ по установке оборудования, высокая надежность и мобильность конструкции [50].

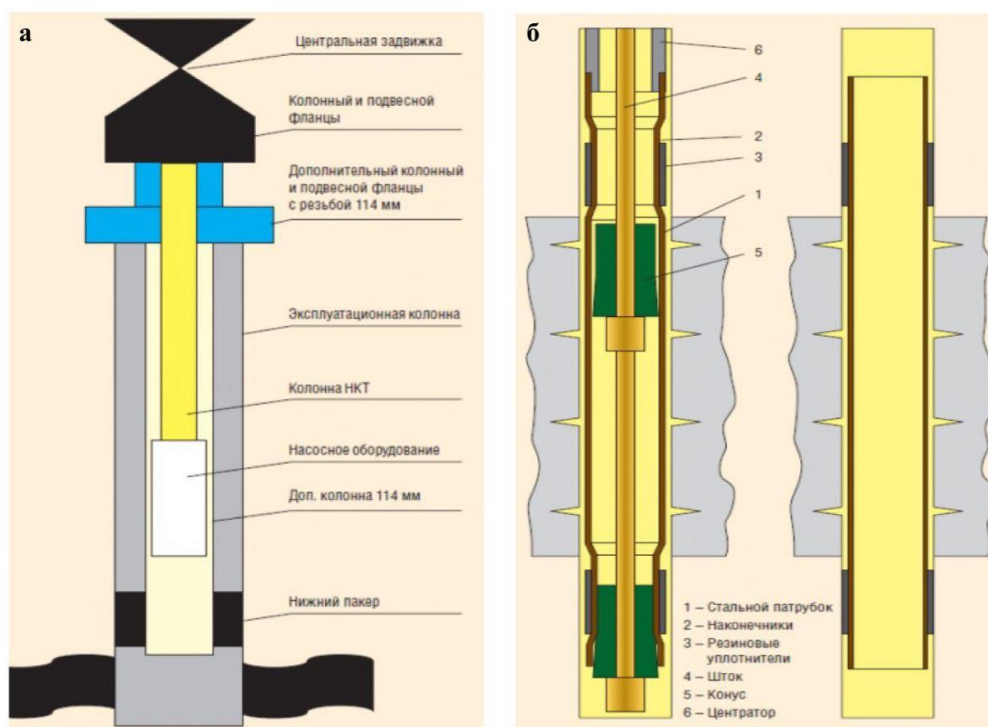


Рисунок 1.7 – Схемы установки колонны меньшего диаметра (а), извлекаемого пластыря (б)

### 1.2.2 Физико-химические РИР

Все физико-химические методы ограничения водопритока можно условно разделить на 2 типа в зависимости от механизма действия: селективные и неселективные.

***Неселективными методами изоляции*** называются методы, в которых главной целью является создание непроницаемого, неразрушающегося со временем, экрана. Основными реагентами являются цементные растворы и синтетические смолы. Одним из преимуществ использования цементного раствора является дешевизна и доступность материалов, однако формирующийся цементный камень обладает низкими адгезионными свойствами, приводя к быстрому его разрушению. Напротив, смолы обладают более высокими прочностными характеристиками, однако их использование может привести к значительному снижению фильтрационных характеристик нефтенасыщенного интервала.

*Селективными* являются методы, в которых образующийся осадок, гель или отверждающееся вещество увеличивают фильтрационное сопротивление только в водонасыщенной части пласта, а нефтенасыщенная часть пласта остается нетронутой. С учетом принципов воздействия на пласт можно выделить пять групп селективных химических реагентов и, соответственно, основанных на них методов: гидрофобизаторы, гелеобразующие, осадкообразующие, отверждающиеся, а также пенные системы.

1) Гидрофобизаторы – это поверхностно-активные вещества, действующие на породы в призабойной зоне пласта, и способствующие изменению фазовой проницаемости воды для снижения скорости ее фильтрации.

2) Гелеобразующие – группа химически реагентов, способствующих образованию пространственных гелеобразных систем, состоящих из дисперсной фазы неорганической или органической природы с высокой степенью дисперсности и водной или органической дисперсионной среды.

К таким реагентам относят: полимеры и сополимеры акриловой кислоты, полиакронитрилы, простые и сложные эфиры целлюлозы, полиолефины, нерастворимые смолы и латексы и т.п.

3) Осадкообразующие – химические реагенты, способные при контакте друг с другом, с пластовой водой или с растворенными в ней солями образовывать нерастворимый осадок. Для этих целей применяются гидроксиды поливалентных и щелочноземельных металлов, растворы сложных эфиров, мыла высокомолекулярных кислот, а также некоторые неорганические соли (например, сульфат железа (II), силикаты щелочных металлов).

4) Отверждающиеся – группа реагентов, образующая в пластовых условиях водоизолирующую массу, растворимую в нефти и нерастворимую в воде. К этой группе относят: полиуретаны, синтетические смолы, кремнийорганические соединения и др.

5) Пенные системы – системы, в которых в результате взаимодействия химических реагентов образуются пузырьки газа, позволяющие блокировать пути продвижения воды. Наибольший эффект от применения пенных систем достигается в газовых скважинах [19,20].

Помимо перечисленных химических реагентов, также применяют разнообразные вспомогательные реагенты - наполнители, стабилизаторы, модификаторы и катализаторы.

Изолирующие реагенты способны образовывать разные типы водоизолирующих масс в зависимости от конкретных условий, источников поступления воды, геологических особенностей пластов, технических характеристик скважин [27]. Далее будут рассмотрены основные технологии предупреждения и ликвидации скважин на основе изолирующих реагентов, в том числе прекрасно работающие в условиях трещиноватых карбонатных пород.

### **1.3 Опыт применения различных методов ограничения водопритока**

Одним из эффективных методов воздействия на пласт, снижающим проницаемость водопроводящих каналов и способствующих выравниванию профиля вытеснения нефти является применение полимерного заводнения [Шагалиев, 2021]. Полимерное заводнение заключается в добавлении полимера в воду для снижения ее мобильности. Наиболее популярными реагентами для полимерного заводнения являются растворы полиакриламида (ПАА), сополимеры акриловой кислоты или ксантановая смола. Выбор необходимого реагента зависит от температурных и фильтрационных параметров.

Частным случаем полимерного заводнения является создание полимерных водонепроницаемых барьеров вблизи ВНК, ограничивающих

движение воды по высокопроницаемым пропласткам. Метод позволяет увеличить критический безводный дебит по нефти и снизить темпы обводнения скважины. Размер непроницаемого барьера определяется геологическими особенностями залежи и параметрами работы добывающей скважины (пластового давления, величины депрессии, толщины пласта, проницаемости, степени анизотропии пласта, соотношения мобильностей нефти и воды и т.п.). Для успешной изоляции водопритока рекомендуемый размер непроницаемого экрана должен составлять 5-10 м, толщиной до 2 м.

В настоящее время разработано и опробовано большое количество селективных и неселективных составов для проведения РИР. Также, как и для полимерного заводнения наиболее популярными являются гелеобразующие составы на основе гидролизованного полиакриламида (ПАА). Часто такие гелеобразующие составы используются повсеместно в сочетании с различными цементными тампонажными растворами или органическими отверждающимися композициями.

Например, для изоляции подстилающей воды в трещиноватом карбонатном резервуаре залежи Арабакл, США использовался состав на основе ПАА в сочетании со сшивателем - солью трехвалентного хрома  $Cr^{3+}$  [Portwood, 2005]. На месторождении X проводились также испытания по изоляции водопритока с помощью термосолестойкого сополимера акриламида. Однако ввиду высокой минерализации воды требуемый изолирующий эффект не был достигнут. В работах [19,30] были предложены термотропная композиция «ГАЛКА» на основе солей трехвалентного алюминия ( $Al^{3+}$ ), гелирующаяся при добавлении карбамида ( $NH_2-CO-NH_2$ ) за счет изменения pH раствора из-за выделения углекислого газа ( $CO_2$ ) или аммиака ( $NH_3$ ), а также композиции «МЕТКА» на основе простых эфиров целлюлозы и карбамида и «НИНКА» на основе ПАВ, солей аммония и карбамида.



## 2 ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Общие сведения

Объектом исследования является нефтяное месторождение X, приуроченное к северо-восточной части Восточно-Европейской равнины, центральной части Большеземельской свода в пределах Хорейверской впадины Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (Рисунок 2.1).

Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция (НГП) расположена на территории Республики Коми, Ненецкого автономного округа Архангельской области и северной части Пермской области. Территория НГП занимает площадь около 350 тыс. км<sup>2</sup> и тектонически приурочена к Печорской синеклизе и шельфу Печорского моря. Около половины территории провинции расположена севернее полярного круга [24, 29].

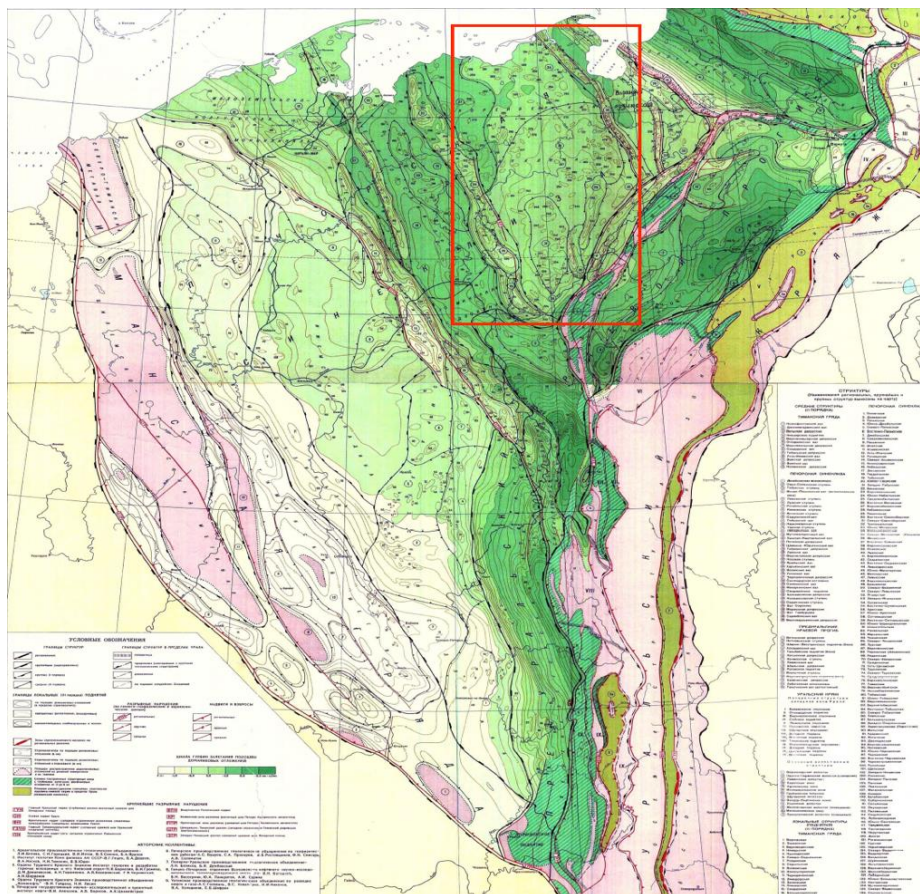


Рисунок 2.1 – Выкопировка из структурно-тектонической карты Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [Богацкий, 1985]

С точки зрения ландшафта, местность представляет собой холмистую равнину высотой до 100-150 м, местами достигая 250 м в области моренных гряд. Климат на территории объекта исследования суровый субарктический с продолжительной морозной зимой и коротким холодным летом. Снежный покров в условиях вечной мерзлоты сохраняется с октября по июнь. На территории хорошо развита система рек, являющихся в основном притоками Печоры и Усы. Начало замерзания рек приходится на начало октября. Толщина ледового покрова крупных рек варьируется от 0,7-1,5 м, а мелкие озера, реки и ручьи промерзают до дна. Лед сходит в конце мая – начале июня, ледоход длится 1-2 недели. Высота подъема воды в крупных реках в данный период составляет 3-5 м, в мелких – 1-3 м. Период межени длится с конца июля по начало сентября и сопровождается дождевыми паводками с повышением уровня воды на 0,5-2,8 м.

Растительность района тундровая. На водораздельных пространствах преобладают мхи и лишайники, вдоль ручьев развита травяная растительность с низкорослыми кустарниковыми зарослями полярных ив, а на склонах и вдоль торфяников – карликовая березка с багульником. Имеются также участки реликтового березово-елового леса в южных районах и поймах рек. В озерах и реках обитает большое количество рыб, например, хариус, щука, сиг, чир, пелядь. Сухопутная фауна представлена зайцами, песцами, многочисленны мышами, лосями, медведями и волками. В долинах рек и озер весной гнездятся гуси, утки, лебеди, другие перелетные птицы. Зимуют лишь полярные совы и куропатки.

Транспортная доступность отсутствует – в зимний период возможно передвижение по зимникам, в весенний период транспортировка грузов осуществляется по большой воде на лодках и плоскодонных баржах, летом возможен проезд только гусеничного транспорта.

В настоящий момент на изучаемой территории существует 3 коренных малочисленных поселения: Хорей-Вер (40 км), Каратайка и Харута, в которых проживает основная часть коренного населения тундры: ненцы,

чукчи и др. Основными видами деятельности коренного населения является оленеводство и промысловая охота. Ближайшими крупными городами поблизости являются: Нарьян-Мар (220 км), Усинск (200 км), Лабытнанги [33, 34].

## **2.2 Тектонический очерк**

На территории Тимано-Печорской НГП выделяют несколько крупных тектонических элементов разного порядка, например, Тиманская гряда, Ижма-Печорская впадина, Печоро-Колвинский и Варандей-Адзвинский авлакогены, Хорейверская впадина, на территории которой и расположено нефтяное месторождение X.

Хорейверская впадина является крупной отрицательной структурой I-го порядка, ее протяженность составляет более 300 км, а ширина варьируется от 60 до 140 км. На западе впадина обрамляется Колвинским мегавалом, на востоке граничит с Варандей-Адзвинской структурной зоной, а на юго-востоке с грядой Чернышева [34]. Современный облик впадины обусловлен спокойным характером залегания отложений. Для исследуемой территории характерно наличие продолжительных стратиграфических несогласий и широко распространенных областей денудации. Осадочный чехол Восточно-Европейской платформы представлен 3 структурными ярусами. Нижний ярус, датированный ордовикско-раннедевонской эпохой, с несогласием залегает на древнем фундаменте. Средний структурный этаж сформировался в средне-верхнедевонскую эпоху. Венчают осадочный чехол отложения юрско-антропогенового возраста (Рисунок 2.2).

При интерпретации сейсмических данных в пределах нижнего структурного этажа отмечается наличие дизъюнктивных нарушений. Расстояние между крыльями нарушений может достигать 145 м. На исследуемой территории наблюдаются последствия сильных эрозионных процессов, повлекших за собой обнажение отложений силурийского

возраста. В связи с активными тектоническими процессами, происходившими в триасовое время, на исследуемом участке можно обнаружить широкое распространение складчатых структур. Седиментация органогенных построек в позднедевонское время происходила в теплом мелководном бассейне. На территории наблюдаются кратковременные седиментационные перерывы на границе фанера-раннего карбона и на границе перми и триаса. Во время альпийского цикла тектогенеза завершилось образование верхнего яруса. Окончательно структура впадины сформировалась в раннеюрскую эпоху [37].

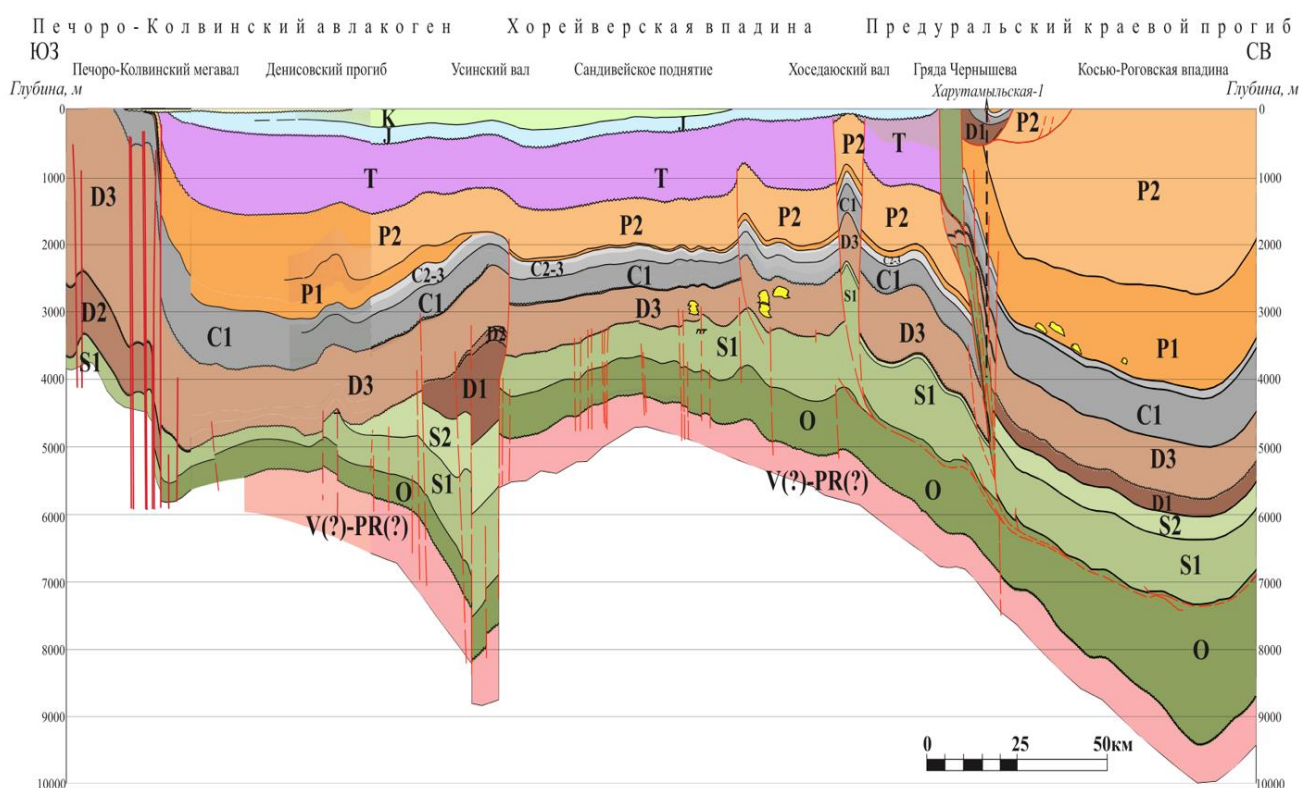


Рисунок 2.2 – Геологический разрез по линии профиля Р-17 «Изучение и анализ ресурсной базы углеводородного сырья на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции»

## 2.3 Стратиграфия

### 2.3.1 Породы фундамента

Древний фундамент, образованный в период байкальского тектогенеза, сложен преимущественно слабометаморфизованными сланцами, кварцевыми

песчаники и доломитами средне-верхнерифейского возраста. Породы фундамента бурением не вскрыты, однако по данным разведки, глубина его залегания варьируется от 5,5 до 6,5 км.

### 2.3.2 Породы осадочного чехла

Нижняя часть осадочного чехла от ордовика до перми (кроме среднедевонско-нижнефранкских отложений) представлена преимущественно морскими карбонатными отложениями. Верхняя часть представлена терригенными и карбонатно-терригенными образованиями.

#### **Ордовикская система (O).**

На территории провинции система представлена осадочными породами нижнего, среднего и верхнего отделов. Породы раннеордовикской эпохи представлены *тремадокским (O<sub>1t</sub>)* и *аренигиским (O<sub>1a</sub>)* ярусами. *Тремадокский ярус* разделен на 2 части: нижняя сложена лагунно-морскими темными серо- и зеленоцветными аргиллитами и мергелями с прослоями водорослевых известняков тремадокского возраста, а верхняя представлена ритмичным чередованием субконтинентальных красноцветных, полимиктовых и кварцевых алевролитов и мелкозернистых песчаников с прослоями аргиллитов и редко гравелитов, образующих *хореймусюрскую свиту (O<sub>1hm</sub>)*. Мощность яруса достигает 500 м. В составе среднего отдела ордовика выделяют 3 яруса: *лланвирнский (O<sub>2l</sub>)*, *лландейловский (O<sub>2ld</sub>)* и *карадокский (O<sub>2k</sub>)*, однако в стратиграфическом разрезе изучаемой территории эти ярусы отсутствуют.

Отложения позднего ордовика образуют *ашгиллский ярус (O<sub>3as</sub>)*. В состав яруса входят осадки мелководного шельфа *баганской свиты (O<sub>3bq</sub>)*, представленной известняками и вторичными доломитами; *мукерской свиты (O<sub>3mk</sub>)*, представленной доломитами, сульфатами и смешанными сульфатно-карбонатными породами с прослоями аргиллитов; *хорейверской свиты (O<sub>3hr</sub>)*, представленной переслаиванием доломитов, сульфатов и аргиллитов; и *салюкинской свиты (O<sub>3sl</sub>)*, представленной преимущественно вторичными

перекристаллизованными доломитами с реликтовой органогенной структурой. Общая мощность пород отдела варьируется от 180 до 430 м, однако на территории месторождения X породы ордовикского возраста бурением не вскрыты [31, 33, 37].

### **Силурийская система (S).**

Силурийские отложения в пределах представлены достаточно полно и залегают со стратиграфическим несогласием на породах позднеордовикского возраста. Нижний отдел представлен *лландоверийским (S<sub>1l</sub>)* и *венлокским (S<sub>1v</sub>)* ярусами. *Лландоверийский ярус* преимущественно сложен осадочным ритмом, серых, массивных известняков и серых ангидрито-доломитовых пород (вскрытая мощность до 20 м). В кровле яруса выделяют карбонатно-доломитово-сульфатный *филиппельский горизонт*, увеличению фильтрационно-емкостных свойств которого способствовала перекристаллизация органических остатков. *Венлокский ярус* (мощностью от 209 до 213 м) представлен неравномерным чередованием буровато-серых массивных известняков и вторичных светло-серовато-коричневых или зеленовато-серых доломитов мелководно-шельфового генезиса, содержащих органический детрит брахиопод, остракод, конодонтов и водорослей. В породах, приуроченных к трансгрессивным циклам, содержится глинисто-алевролитовая примесь, а регрессивные пачки вторичных доломитов содержат пласты-коллекторы органогенно-обломочной структуры с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами.

Верхний отдел включает в себя *лудловский (S<sub>2ld</sub>)* и *пржидольский (S<sub>2p</sub>)* ярусы. Лудловский и пржидольский ярусы представлены морскими шельфовыми карбонатными или терригенно-карбонатными породами *гердьюского горизонта (S<sub>2gj</sub>)* и *гребенского горизонта (S<sub>2gr</sub>)* – известняками светло-серыми, коричневато-серыми, мелкозернистыми, часто переходящими в доломиты, неравномерно глинистыми, местами перекристаллизованными, с прослоями мергелей и аргиллитов темно-серых, с гнездами пирита и

кальцита. Мощность отложений уменьшается в западном направлении от 142 до 84 м [31, 33].

### **Девонская система (D).**

Девонская система состоит из 3 отделов, однако на исследуемой площади большая часть осадочных отложений нижнего и среднего девона отсутствуют вследствие обильного выветривания в предраннефранское время. В состав нижнего и среднего девона включают следующие ярусы: *лохковский (D<sub>1l</sub>)*, *пражский (D<sub>1p</sub>)*, *эмский (D<sub>1e</sub>)*, *эйфельский (D<sub>2ef</sub>)*, *живетский (D<sub>2žv</sub>)*. В стратиграфическом разрезе Хорейверской впадины наблюдается значительное уменьшение отложений нижнего девона вплоть до полного срезания. Нижний подъярус лохковского горизонта представлен породами *овинпармского (D<sub>1op</sub>)* и *сотчемкыртинского (D<sub>1sk</sub>) горизонтов*, сложенных глинистыми известняками, мергелями с примесью аргиллитов темно-серых, сформировавшихся в мелководно-морских условиях наступающего моря. Вторичные процессы в карбонатах, такие как доломитизация, трещинообразование, выщелачивание оказали положительное влияние на фильтрационно-емкостные свойства пород. Мощность варьируется от нескольких метров до 250 м в восточной части Хорейверской впадины. Осадочные отложения среднедевонской эпохи отсутствуют повсеместно, кроме западной части Хорейверской впадины, примыкающей к Колвинскому мегавалу.

В пределах месторождения X породы верхнего девона залегают со стратиграфическим несогласием на силурийских карбонатах (эродированы: верхняя часть нижнего девона – *сотчемкыртинский горизонт (D<sub>1sk</sub>)* лохковского яруса, отсутствует весь средний девон, а также *яранский (D<sub>3jr</sub>)* и *дэжьерский (D<sub>3džr</sub>)* горизонты верхнедевонской эпохи.

Породы нижнего подъяруса *франского яруса (D<sub>3f</sub>)* входят в состав *тиманского (D<sub>3tm</sub>)* и *саргаевского (D<sub>3sr</sub>)* горизонтов, которые литологически и палеонтологически четко не отделены друг от друга. Горизонты сложены преимущественно ритмично переслаивающимися терригенными породами:

алевролитами в разной степени глинистыми, темно-серыми, известковистыми аргиллитами и прослоями известняков и мергелей в кровле. Мощность отложений варьируется от 55 до 117 м. Далее следуют осадочные отложения *доманиковского* ( $D_3dm$ ) и *ветласянского* ( $D_3vt$ ) горизонтов. Породы доманиковского горизонта представлены в подошвенной части темно-серыми, почти черными известняками, содержащими органический детрит и темно-серыми глинисто-битуминозными известняками, сформировавшимися в глубоководных условиях (мощность до 75 м). В кровле пласта в некоторых скважинах выделяются более светлые известковые разности. *Ветласянский горизонт* ( $D_3vt$ ) в сводовых частях структур отсутствует, но его наличие не исключается в склоновых и/или подошвенных частях структуры. Во многих скважинах породы *сирачойского горизонта* ( $D_3src$ ) представлены массивными карбонатными постройками, сложенными свето-серыми известняками, в различной степени перекристаллизованными, доломитизированными, с примесью органического детрита и доломитами. Для верхней части разреза характерно широкое присутствие известняков водорослевых, строматопорово-водорослевых, кораллово-водорослевых, а также известняков с инкрустациями, развивающимися по скелетам этих организмов. Среди перечисленных пород присутствуют прослои онколито-оолитовых, комковатых детритовых известняков. Все породы перекристаллизованы и доломитизированы вплоть до образования средне-мелкозернистого доломита и в верхней части выщелочены. По всему разрезу развиты как горизонтальные, так и вертикальные стилолитовые швы. По сопоставлению с разрезами соседних площадей известняковую часть разреза можно отнести по возрасту к *евлановскому* ( $D_3ev$ ) и *ливенскому* ( $D_3lv$ ) горизонтам. Карбонатные отложения образуют биогермный массив, где главными каркасостроителями наряду с водорослями являются строматопороидеи. В тыловой и прикровельной части массивов второстепенную роль играют сферово-сгустковые и узорчатые известняки, образованные благодаря жизнедеятельности водорослей и бактерий,



подвергшихся неравномерному известкованию. Полная вскрытая мощность отложений оценивается от 440 до 460 м [22, 31, 33].

Выше несогласно залегают породы **фаменского яруса ( $D_{3fm}$ )**, который условно можно разделить на три подъяруса: нижний, средний и верхний. Нижнефаменскому подъярису соответствуют *задонский ( $D_{3zd}$ )* и *елецкий ( $D_{3el}$ ) горизонты*, представленные толщами доломитизированных известняков с прослоями органогенного детрита (мощность до 300 м). Средне- и верхнефаменский подъярусы включают в себя *джебольский надгоризонт ( $D_{3dž}$ )*, который в свою очередь включает три неразделенных горизонта: *усть-печорский ( $D_{2up}$ )*, *зеленецкий ( $D_{3zl}$ )* и *нюмылгский ( $C_{1nm}$ )*. Усть-печорский и зеленецкий горизонты сложены комковато-сгустковыми, детрито-водорослевыми известняками, с включениями онколитов и органогенного детрита. Ньюмылгский горизонт в подошвенной части сложен переслаиванием зеленовато-серых аргиллитоподобных глин и известняков неравномерно глинистых, содержащих включения водорослей, гипса, брахиопод, а в кровельной - пачкой известняков коричневатого и зеленовато-серых, неравномерно доломитизированных с прослоями органического детрита и с многочисленными стилолитовыми швами. В ней встречаются многочисленные гнезда ангидрита. Мощность от 150 до 250 м [22].

### **Каменноугольная система (С).**

Породы каменноугольной системы залегают с размывом на верхнедевонских отложениях фаменского яруса и представлены всеми 3 отделами. Нижний отдел карбона представлен *турнейским ( $C_{1t}$ )*, *визейским ( $C_{1v}$ )* и *серпуховским ( $C_{2s}$ )* ярусами. Турнейский ярус на территории исследования практически везде отсутствуют. Отложения визейского яруса со стратиграфическим несогласием залегают на более ранних образованиях и условно начинаются с пород *окского надгоризонта ( $C_{1ok}$ )*, представленного переслаиванием серых, буровато-серых массивных известняков, светло-серых, местами с реликтово-органогенной структурой доломитов и прослоями голубовато-серых ангидритов в кровле разреза. Мощность яруса

составляет от 130 до 200 м. Серпуховский ярус условно делится на 2 части: в нижней выделяется толща *тарусского* ( $C_{1tr}$ ) и *стешевского* ( $C_{1st}$ ) горизонтов, представленных чередованием темно-серых доломитов и буровато-серых кавернозно-пористых известняков с линзами ангидритов (мощность от 81 до 151 м, а верхняя, в составе *протвинского горизонта* ( $C_{1pr}$ ), представлена чередованием светло-серых, органо-детритовых местами доломитизированных известняков и коричневатых крепких известняков со стилолитовыми швами (мощность от 50 до 93 м). Осадочные отложения среднего и верхнего отдела карбона представлены нерасчлененной толщей светло-серых, местами глинистых и окремненных, органо-детритовых известняков, со стилолитовыми швами и известняков серых, мелкокристаллических, плотных, прослоями глинистых, участками доломитизированных, трещиноватых. Встречаются прослои темно-серых и черных глин. Толщина отложений изменяется от 123 м до 174 м [22, 31, 33]..

#### **Пермская система (P).**

Отложения пермской системы преимущественно согласно или со стратиграфическим несогласием залегают на отложениях среднего-верхнего карбона. В нижнем отделе выделяют: *ассельский* ( $P_{1a}$ ), *сакмарский* ( $P_{1s}$ ), *артинский* ( $P_{1ar}$ ) и *кунгурский* ( $P_{1k}$ ) ярусы в карбонатных фациях. Ассельский ярус сложен известняками детритовыми, биоморфно-детритовыми с прослоями биогермных известняков и мергелей. Породы сакмарского яруса, сложенного детритовыми известняками, на исследуемой территории не вскрыты. Толщина отложений ассельского и сакмарского ярусов колеблется в пределах от 23 до 147 м. Артинский ярус - подразделяется на нижний и верхний подъярусы. Породы нижнего подъяруса в подошвенной части сложен глинистыми известняками, мергелями, терригенно-карбонатными породами. В кровельной части подъяруса залегают глины и алевролиты с редкими прослоями песчаников; присутствуют конкреции. Верхнеартинский подъярус представлен чередованием песчаников, алевролитов с пачками алевроитовых глин и прослоями углистых

пород, известняков. Толщина отложений яруса оценивается в 50-135 м. Кунгурский ярус представлен аргиллитами, алевролитами и песчаниками с прослоями известняков. Верхний отдел перми представлен терригенными отложениями *уфимского (P<sub>2u</sub>)*, *казанского (P<sub>2kz</sub>)* и *татарского (P<sub>2t</sub>)* ярусов. Нижняя часть уфимского яруса сложена песчаниками, алевролитами и глинами с прослоями углистых глин и углей мощностью до 200 м, а верхняя часть – красноцветными глинами и алевролитами, мощностью до 500 м. Осадочные отложения казанского яруса представлены песчаниками, алевролитами, глинами с прослоями углистых глин и углей (мощность до 230 м). Породы татарского яруса представлены песчаниками с прослоями конгломератов, алевролитами, глинами с прослоями углей. Отложения также могут содержать включения известково-сидеритовых конкреций [31].

### **Триасовая система (Т).**

Триасовые отложения залегают со стратиграфическим несогласием на верхнепермских и представлены тремя терригенными толщами континентального генезиса: нижней, средней - пестроцветной и верхней сероцветной. Нижняя толща, приуроченная к *чаркобожской (T<sub>1cb</sub>) харалейской (T<sub>1hr</sub>)* свитам, сложена коричневыми и красными глинами с подчиненными прослоями песчаников и алевролитов. Нижняя граница *чаркобожской* свиты проводится в кровле сероцветной толщи, выше которой залегают красноцветы нижнетриасового возраста. Нижняя граница харалейской свиты проводится в подошве песчаного пласта. Общая мощность отложений от 264 до 476 м. Далее следует толща отложений, представленная пестроцветными глинами с прослоями серых песчаников, алевролитов и сероцветных глин и выделенная в объеме *ангурской (T<sub>2an</sub>) свиты* (мощностью от 122 до 210 м). Сероцветная толща *нарьянмарской свиты (T<sub>2nt</sub>)* представлена чередованием глин, песчаников и алевролитов с большим количеством растительного детрита. Нижняя граница проводится условно в подошве пачки песчаников, ниже которых начинаются пестроцветы ангуранской свиты. Мощность изменяется от 302 м до 480 м [31, 33].

## **Юрская система (J).**

Юрские отложения с перерывом трансгрессивно залегают на триасовых образованиях. В нижней их части выделяются континентальные и прибрежно-морские породы нижнего и среднего отделов, и глинистые отложения верхней юры в верхней части.

Отложения нижнего отдела юры условно делятся на две пачки: нижняя представлена олигомиктовыми песками и слабо сцементированными песчаниками, а верхняя сложена прибрежно-морскими каолинит-хлоритовыми глинами. Мощность нижнеюрских отложений не превышает 50-90 м. Породы среднего отдела подразделяются на толщу, преимущественно песчаную: *ааленско-байосский (J<sub>2a-b</sub>)* и *батский (J<sub>2bt</sub>)* ярусы, мощностью от 50 до 200 м, и преимущественно глинистую толщу: *келловейский ярус (J<sub>2k</sub>)*. Верхнеюрские образования выделяются в объеме нерасчлененных *оксфордского-кимериджского (J<sub>3o-kt</sub>)* и *волжского (J<sub>3v</sub>)* ярусов. Первый представлен чередованием алевролитов, песчаников и глауконитовых глин. Волжский ярус сложен серыми глинами с прослоями мергелей, мощность около 120 м. Общая мощность юрских образований составляет 300-450 м [22,31].

## **Меловая система (K).**

Меловые отложения на данной территории залегают несогласно на породах верхней юры и представлены только нижним отделом. В нижнем отделе мела, мощностью от 200 до 390 м, выделяют *неокомский надъярус (K<sub>1nc</sub>)*, объединяющий *берриасский (K<sub>1b</sub>)*, *валанжинский (K<sub>1v</sub>)*, *готеривский (K<sub>1g</sub>)* и *барремский (K<sub>1br</sub>)* ярусы, а также нерасчлененные *аптский (K<sub>1a</sub>)* и *альбский (K<sub>1al</sub>)* ярусы. Отложения неокома представлены чередованием серых, зеленовато-серых глауконитовых глин, алевролитов и песчаников с прослоями хорошо окатанной гальки известняков и песчаников. Отложения апт-альбского возраста представлены серовато-зелеными глинистыми песчаниками и алевролитами с прослоями глин, и линзами бурых углей [22, 31].

## **Четвертичная система (Q).**

Отложения четвертичной системы представлены рыхлыми песками, супесями, глинами и суглинками с прослоями конгломератов. Пески от мелко- до крупнозернистых, кварцевые с включениями гравелита и галечника. Суглинки темно-серые, плотные, песчанистые, с органическими остатками пеллеципод. Нижняя часть разреза сложена образования моренно-ледникового типа, а верхняя часть - озерно-аллювиальными и эоловыми образованиями. Мощность варьируется от 210 до 353 м [22, 31, 33, 37].

## **2.4 Нефтегазоносность**

Тимано-Печорская нефтегазовая провинция объединяет шесть основных нефтегазовых областей, соответствующих региональным структурам: Тиманскую, Ижма-Печорскую, Печоро-Колвинскую, Хорейверскую, Варандей-Адъзвинскую и Северо-Предуральскую [29, 31].

Хорейверская НГО, приуроченная к Хорейверской впадине, включает в себя Колвависовский НГР и Чернореченский НГР. На исследуемой территории НГО выявлено около 50 нефтяных месторождений с высокодебитными залежами в карбонатных отложениях силура, нижнего и верхнего девона и пермо-карбона. Мелкие, средние, например, Колвинское и Висовое и ряд крупных месторождений, например, им. Трбса и им. Титова. Единичные залежи выявлены в карбонатных породах ордовика.

В пределах ордовикско-нижнедевонского, среднедевонско-нижнефранского, доманиково-турнейского, верхневизейско-артинского и пермского-триассового НГК выявлены ловушки УВ, связанные с органогенными образованиями и терригенными коллекторами. Большинство установленных залежей приурочены к доманиково-турнейского НГК, четверть - ордовикско-нижнедевонском и верхневизейско-артинском НГК.

В *ордовикско-нижнедевонском НГК* найдены залежи в коллекторах каверно-трещинно-порового типа, представленных вторичными доломитами

и доломитизированными известняками, а также терригенно-карбонатными пачками. Пористость карбонатных пород-коллекторов составляет от 11 до 15%, проницаемость 110-160 мД. Терригенные коллекторы, имеющие ограниченное распространение, сложены мелко- и среднезернистыми плотными кварцевыми песчаниками, пористость которых составляет от 5 до 9%, а проницаемость от 0,5 до 9,5 мД. Самый распространенный тип залежей – массивный со стратиграфическим или литологическим ограничениями. Региональными покрывками являются глинистые и карбонатно-глинистые образования тиманского и саргаевского горизонтов. В качестве зональных покрывок выступают сульфатно-карбонатные пласты верхнего ордовика и глинистые отложения нижнего девона. На территории месторождения X притока пластового флюида из верхнесиллурийских и нижнедевонских отложений не получено. Максимальные дебиты флюида из нижнедевонских отложений получены на месторождениях им. Р. Требса, им. А. Титова и им. Пасседского.

В *доманиково-турнейском НГК* установлены залежи в коллекторах каверно-порового и трещинно-каверно-порового типов, представленных известняками, доломитами и мергелями, с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами. Основная продуктивность комплекса связывается со сложно построенными фаменскими пластами-коллекторами органогенных рифовых массивов и биогермов, с открытой пористостью от 7 до 24% и проницаемостью 21-7247 мД. Подтверждена продуктивность верхнефранских отложений в пределах рифовых краевых зон и карбонатных банок. Залежи массивные, пластовые сводовые. Зональным флюидоупором считаются глинистые толщи нижнего-среднего визе. Преимущественно в северной части региона они местами отсутствуют или замещаются проницаемыми породами, что создает менее благоприятные условия для сохранения залежей под зональными и локальными покрывками. Промышленные запасы нефти месторождения X установлены в продуктивных пластах  $D_3fm_{III}$  и  $D_3fm_{IV}$  [31].

Залежи *верхневизейско-артинского НГК* приурочены к каверно-поровым карбонатным коллекторам с пористостью 10-15% и мощностью до 1200 м [21]. В пределах данного НГК в отложениях окского надгоризонта визейского яруса промышленные запасы нефти установлены на месторождении X и на других площадях.

Таким образом на территории месторождения X выделены две залежи: одна – пластовая, сводовая  $C_{1ok}$ , вторая – в  $D_3fm_{III+IV}$ . По состоянию на начало 2023 г. на исследуемом месторождении пробурено более 100 скважин для залежи  $C_{1ok}$  и почти столько же для  $D_3fm_{III+IV}$ .

Основной продуктивной залежью является коллектор, сложенный преимущественно чистыми пористыми и каверно-пористыми известняками с прослоями доломитов. Исследуемое месторождение характеризуется сложным геологическим строением и высокой вязкостью нефти (до 14 мПа\*с). По фильтрационно-емкостным свойствам пласты-коллекторы относятся к средне- и малопродуктивным. Выраженная естественная трещиноватость отсутствует. Такая характеристика продуктивного пласта указывает на невозможность освоения месторождения без применения методов увеличения нефтеотдачи [35].

### **3 ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ БРИР НА ПРИМЕРЕ ФАМЕНСКОГО КАРБОНАТНОГО РЕЗЕРВАРА**

#### **3.1 Большеобъемные ремонтно-изоляционные работы (БРИР)**

Наиболее распространенными проблемами при добыче нефти из массивных карбонатных залежей с подстилающей водой являются: фильтрация воды через трещины и высокопроницаемые каналы или конусообразование. Под конусообразованием понимают процесс подтягивания воды из подстилающего водонасыщенного горизонта к нижнему интервалу перфорации добывающей скважины. Эффективными методами для борьбы с конусообразованием в настоящее время считаются:

- уменьшение относительной фазовой проницаемости воды;
- снижение мобильности воды за счет увеличения ее вязкости с помощью технологии полимерного заводнения;
- создание непроницаемого барьера в поровом пространстве.

Цель большеобъемных ремонтно-изоляционных работ (БРИР) – создание препятствия в виде экрана на пути фильтрации подошвенной воды при конусообразовании. Для этого на скважинах, по которым диагностировано конусообразование (с помощью диагностических графиков Чена, либо на основании анализа результатов записи профиля притока по стволу скважины), проводится перфорация интервала ниже работающего, закачивается объём полимерного геля, специальные отверстия затем изолируются, и скважина запускается в работу [36].

В настоящее время разработано большое количество различных составов для проведения ремонтно-изоляционных работ. Неселективные материалы действуют по принципу изолированного всего интервала пласт от добывающей скважины, тем самым для дальнейшей разработки необходимо проведение дополнительных мероприятий по повторному вскрытию



нефтенасыщенного интервала. Наиболее удобными материалами являются селективные композиции, которые увеличивают фильтрационное сопротивление воды за счет изменения проницаемости порового пространства в околоскважинной зоне (например, гелеобразующие композиции).

Одним из типов полимерных гелей для проведения БРИП является объемный гель («strong» gel) (Рисунок 3.1). Такой тип геля занимает большую часть порового пространства за исключением недоступного порового объема. Гель обладает очень высокой вязкостью и за счет своих реологических свойств снижает проницаемость участка примерно на 2-5 порядков. Минусом применения данного геля является ограничение по объему его закачки.



Рисунок 3.1 – Объемный гель в поровом пространстве

В данной работе используется так называемый дисперсный гель («weak» gel) (Рисунок 3.2). Он занимает небольшую долю от порового объема, обычно в «узких местах», тем самым снижая проницаемость, и обычно имеет низкую вязкость. Образования геля возможно при смешении с пластовой водой. Важное свойство геля – фактор остаточного сопротивления по воде – должен быть много больше 1. Оно показывает, на сколько в

результате применения геля была снижена проницаемость по воде. Однако при этом снижается и проницаемость по нефти, за счёт этого также происходит снижение продуктивности скважин и нужно избегать закачки геля в пласты, нецелевые для обработки [23,36].

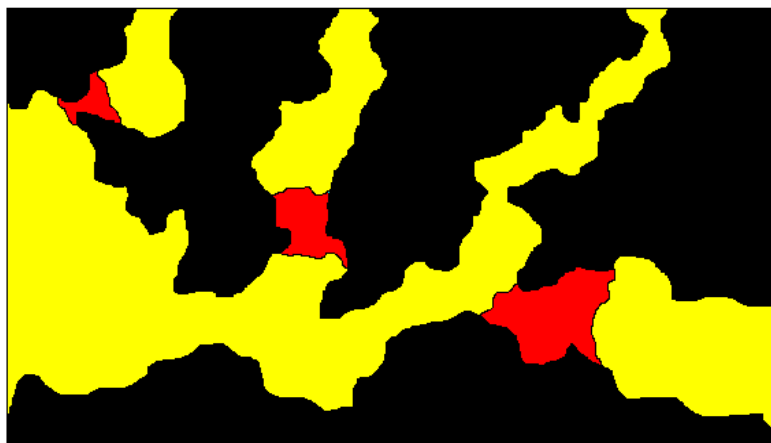


Рисунок 3.2 – Дисперсный гель в поровом пространстве

В результате БРИР с использованием гелеобразующих составов могут быть получены следующие эффекты:

1. Снижение обводненности добывающей скважины за счёт ограничения притока воды в скважину;
2. Увеличение вертикального охвата по разрезу за счёт перераспределения фильтрационных потоков (в работу включаются ранее не дренируемые интервалы);
3. В случае снижения текущей обводненности возникает возможность для проведения мероприятий по интенсификации добычи нефти на скважине.

### 3.2 Анализ исходных данных

На начальном этапе разработки решения о необходимости проведения мероприятий по ограничению притока воды из подстилающего водонасыщенного горизонта карбонатной массивной залежи D<sub>3</sub>fmIII был определён список скважин с предпосылками к проведению БРИР (текущая обводненность выше 60 %, текущий дебит нефти менее 25 т/сут). В 2019 году на тестовом участке месторождения X были проведены работы по подбору составов для проведения БРИР на основании геолого-геофизических характеристик пластов. Был рекомендован 20% раствор РВ-3П-1. Тогда же был определён объём обработок – 500 м<sup>3</sup>.

Преимущества полимерного раствора РВ-3П-1:

- легкость приготовления в промышленных условиях;
- в начальном состоянии раствор близок по вязкости воде;
- время гелеобразования более 48 часов, т. е. композиция гелируется как непосредственно в пласте, так и на удалении от призабойной зоны пласта (ПЗП).

Первоначально предложенная методика моделирования БРИР включала в себя локальное снижение проницаемости в зоне закачки полимерного раствора с помощью ручного уменьшения множителя проницаемости. В данной работе для увеличения эффективности моделирования и получения более достоверных результатов предложена методика моделирования БРИР с помощью симуляции закачки полимерного раствора.

Для проведения исследования в рамках данной выпускной квалификационной работы были взяты данные о геолого-геофизических характеристиках пласта и свойствах пластовых флюидов, а также гидродинамическая модель сектора месторождения X (Модель «Black oil» –

пластовые флюиды: нефть и вода). Основные параметры гидродинамической модели даны в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры секторной гидродинамической модели

Параметр	Значения	Ед. изм.
Количество активных ячеек	380053	шт.
Общий поровый объем, $V_{пор}$	758600165	$m^3$
Начальные геологические запасы нефти, OOIP	56300000	$m^3$
Средняя пористость, $\varphi$	0,15	д. е.
Средняя нефтенасыщенная толщина, $h$	7,7	м
Средняя начальная нефтенасыщенность, $S_o$	0,83	д. е.
Количество скважин-кандидатов БРИР	3	шт.
Средняя проницаемость в зоне обработки (скв. №1)		
- горизонтальная, $k_h$	1500	мД
- вертикальная, $k_v$	1000	мД
Средняя проницаемость в зоне обработки (скв. №2)		
- горизонтальная, $k_h$	1500	мД
- вертикальная, $k_v$	1000	мД
Средняя проницаемость в зоне обработки (скв. №3)		
- горизонтальная, $k_h$	1137	мД
- вертикальная, $k_v$	220	мД
Начальное пластовое давление, $P_{res}$	323	бар

Значения относительных фазовых проницаемостей (ОФП) нефти и воды, и капиллярное давление были заданы в виде таблиц, по которым были построены следующие кривые (Рисунки 3.3, 3.4):

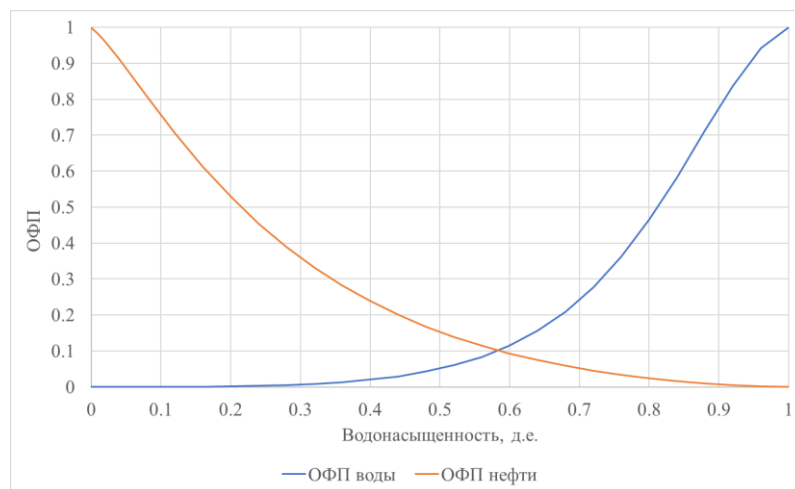


Рисунок 3.3 – Кривые ОФП

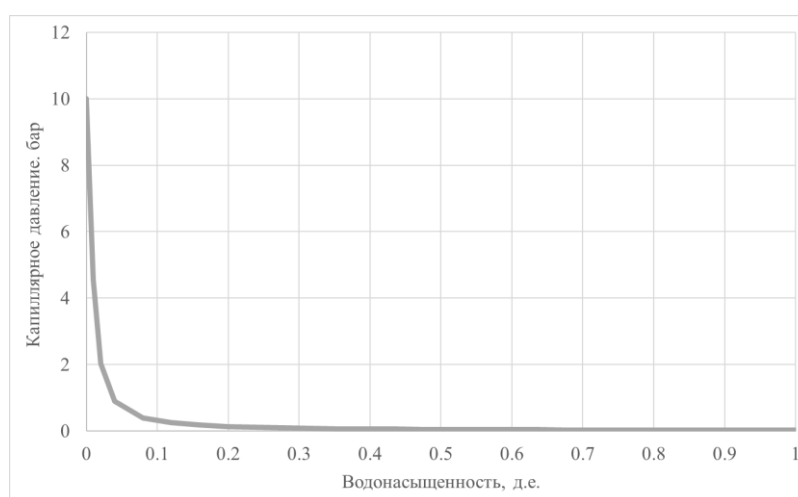


Рисунок 3.4 – Капиллярная кривая

### 3.3 Закачка полимерного раствора

На начальном этапе было выполнено локальное измельчение сетки вблизи скважины для повышения точности околоскважинного моделирования закачки полимерного раствора (Рисунки 3.5, 3.6, 3.7). Размеры ячеек до измельчения  $\approx 100$  м x 100 м x 1 м. После измельчения размеры ячеек составили 10 м x 10 м x 1 м.

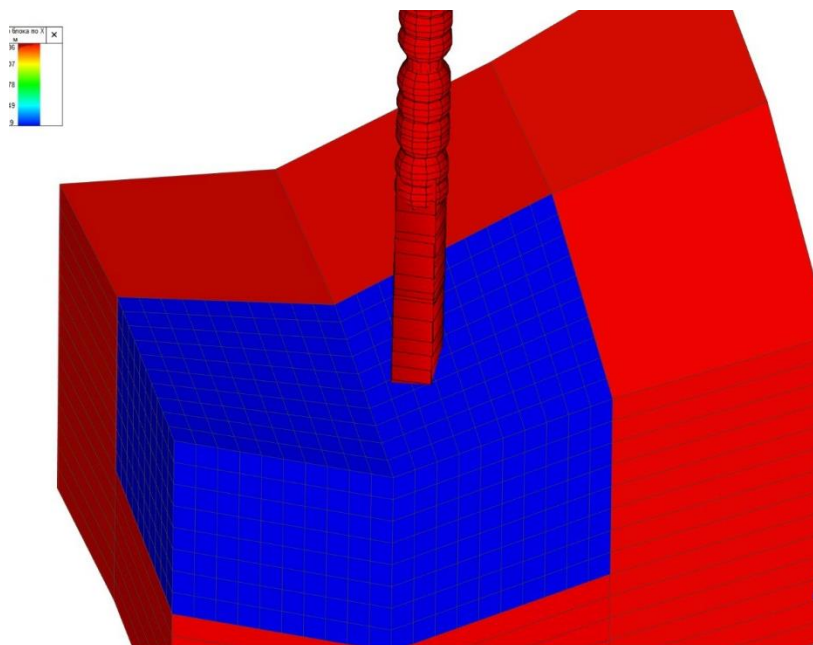


Рисунок 3.5 – Локальное измельчение вблизи (скв. №1)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

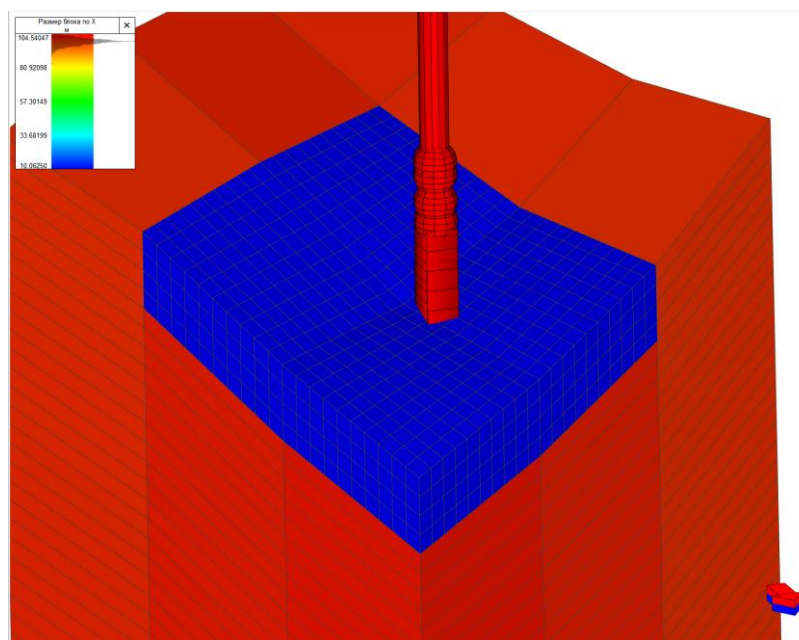


Рисунок 3.6 – Локальное измельчение вблизи (скв. №2)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

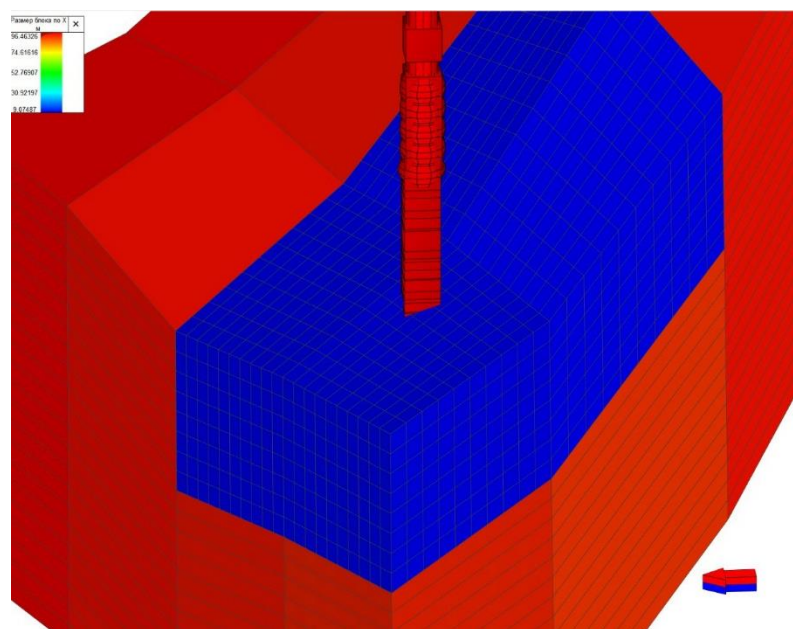


Рисунок 3.7 – Локальное измельчение вблизи (скв. №3)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

Также в зоне локального измельчения критическая водонасыщенность была увеличена в 5 раз.

Свойства полимерного раствора были заданы с помощью ключевых слов «TRACERM» «TRMMULTC», «TRMMULTT». Полимерный раствор был задан ключевым словом «TRACERM», как трассер, для которого необходимо вычислять время пребывания в пласте. Закачка полимерного раствора в пласт нагнетательной скважиной задавалась словом «WTRACER». Абсолютная проницаемость в гидродинамической модели рассчитывалась по Формуле 3.1

$$k = k_{mult}(C_{pol}, t_{pol}) \cdot k_0 \quad (3.1)$$

где  $k_{mult}(C_{pol}, t_{pol})$  – множитель проницаемости в зависимости от концентрации в водной фазе и времени пребывания полимера в пласте (Формула 3.2);

$k_0$  – исходная абсолютная проницаемость.

$$k_{mult}(C_{pol}, t_{pol}) = 1 - (1 - k_{conc}(C_{pol})) \cdot (1 - k_{time}(t_{pol})) \quad (3.2)$$

где  $k_{conc}(C_{pol})$  – множитель проницаемости в зависимости от концентрации полимера, задается в таблице «TRMMULTC»;

$k_{time}(C_{time})$  – множитель проницаемости в зависимости от времени пребывания полимера в пласте, задается в таблице «TRMMULTT».

В работе также было задано такое условие, что общий множитель проницаемости изменяется только если полимер пробыл в ячейке дольше 15 дней - это сделано для увеличения радиуса барьера.

График зависимости множителя проницаемости от концентрации представлял собой ступенчатую функцию, согласно которой при изменении концентрации полимерного раствора до значения 0,03, множитель проницаемости становился равным 0,1 (Рисунок 3.8).

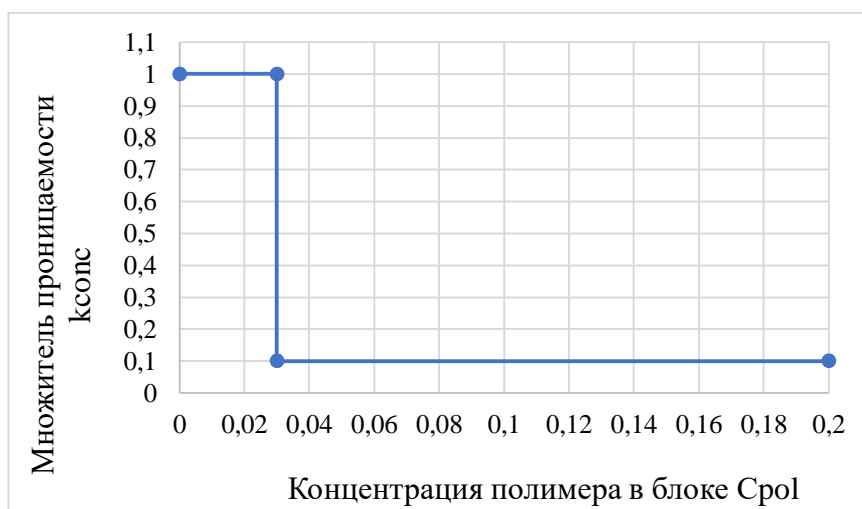


Рисунок 3.8 – График зависимости множителя проницаемости от концентрации полимерного раствора [Составил: Космачев А. Н., 2023]

Для моделирования БРИР была выбрана схема, по которой в три скважины, выбранных для проведения БРИР, полимерный раствор ( $C_{pol} = 0,2$ ) нагнетается на протяжении 10 дней с дебитом  $300 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Только при таких



значениях дебита, размер барьера становится достаточным для того, чтобы модель «видела» его.

На Рисунках 3.9-3.10, 3.11-3.13 показано распределение концентрации полимера, а также зона с измененным множителем проницаемости.

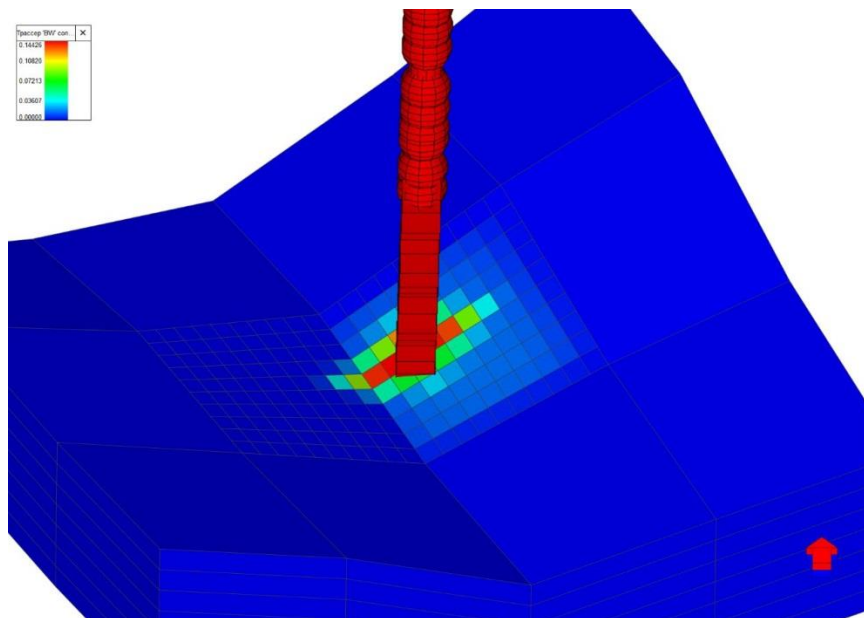


Рисунок 3.9 – Распределение концентрации полимера (скв. №1)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

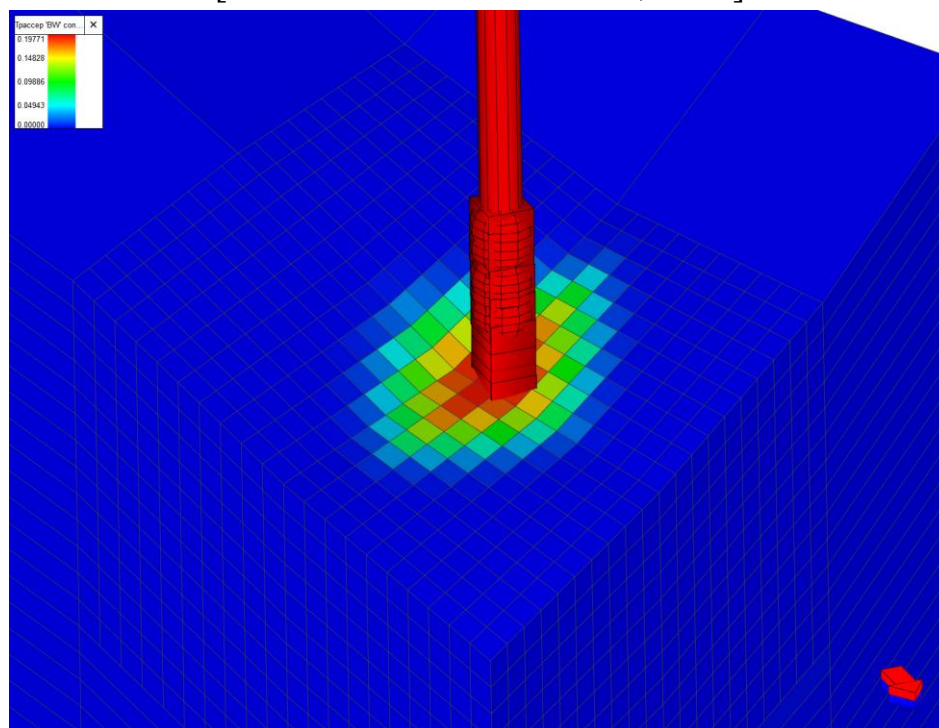


Рисунок 3.10 – Распределение концентрации полимера (скв. №2)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

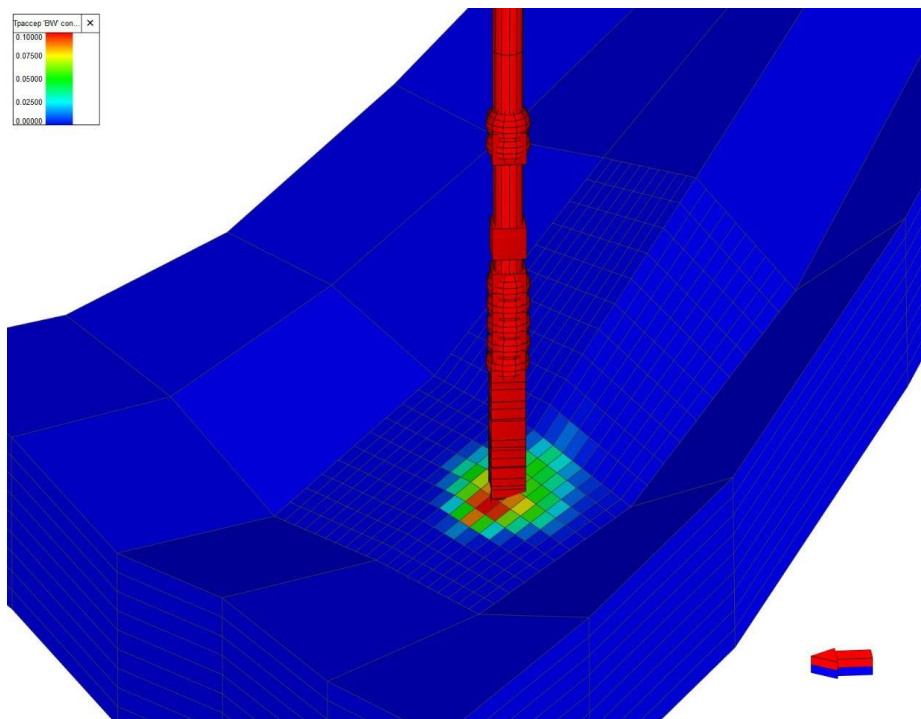


Рисунок 3.11 – Распределение концентрации полимера (скв. №3)  
 [Составил: Космачев А. Н., 2023]

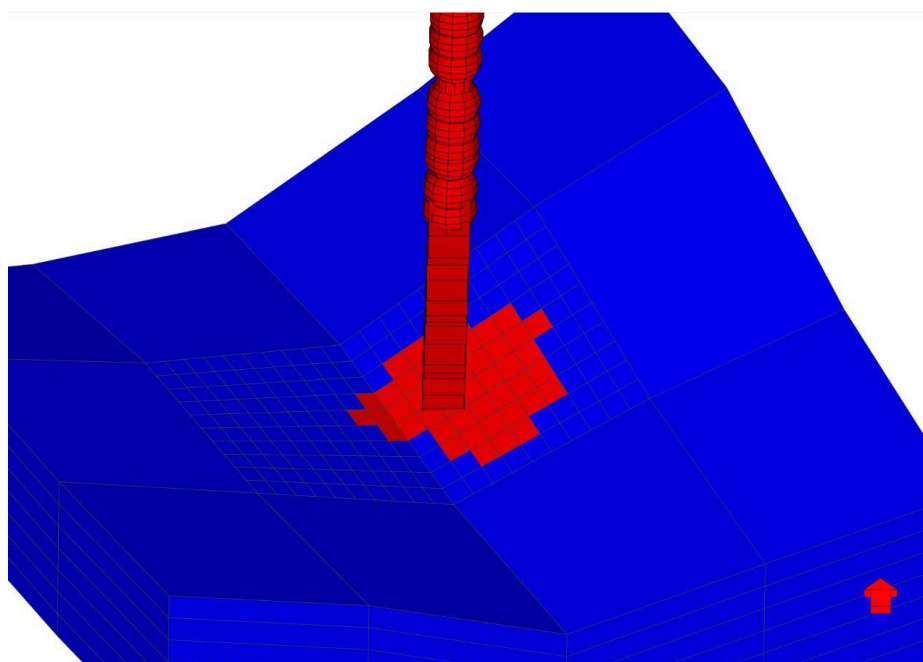


Рисунок 3.12 – Зона с измененным множителем проницаемости (скв. №1)  
 [Составил: Космачев А. Н., 2023]

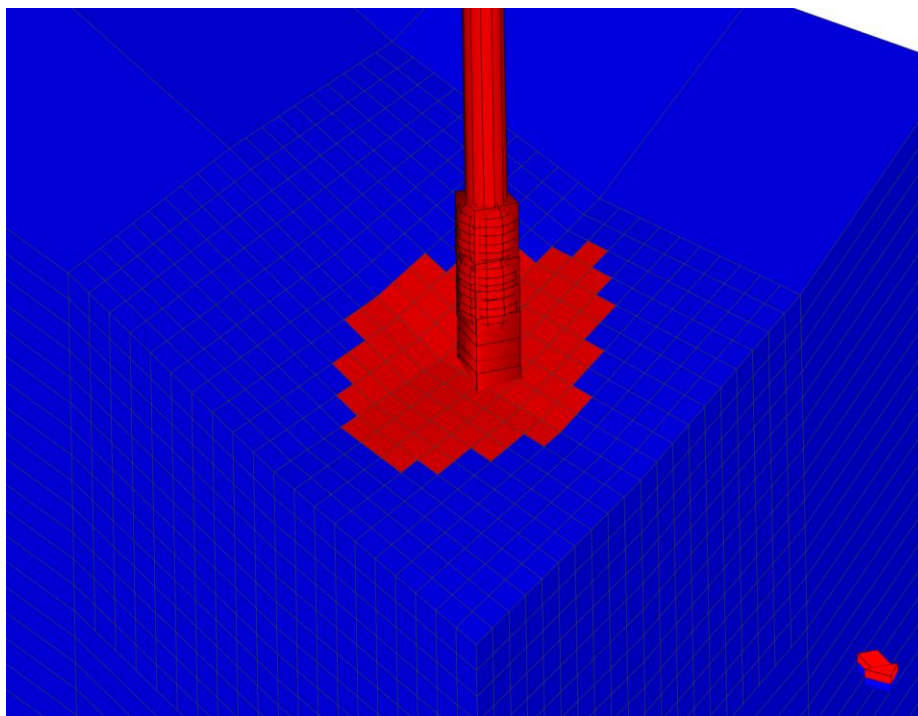


Рисунок 3.13 – Зона с измененным множителем проницаемости (скв. №2)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

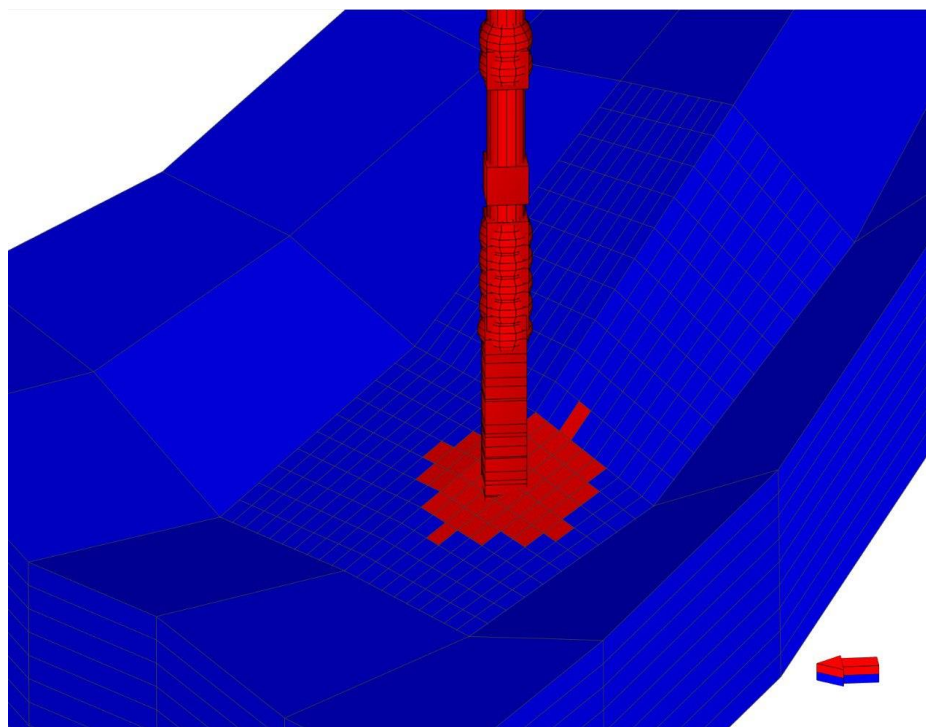


Рисунок 3.14 – Зона с измененным множителем проницаемости (скв. №3)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

Для сравнения эффективности двух методик рассмотрим графики динамики основных показателей разработки: дебиты нефти и воды.

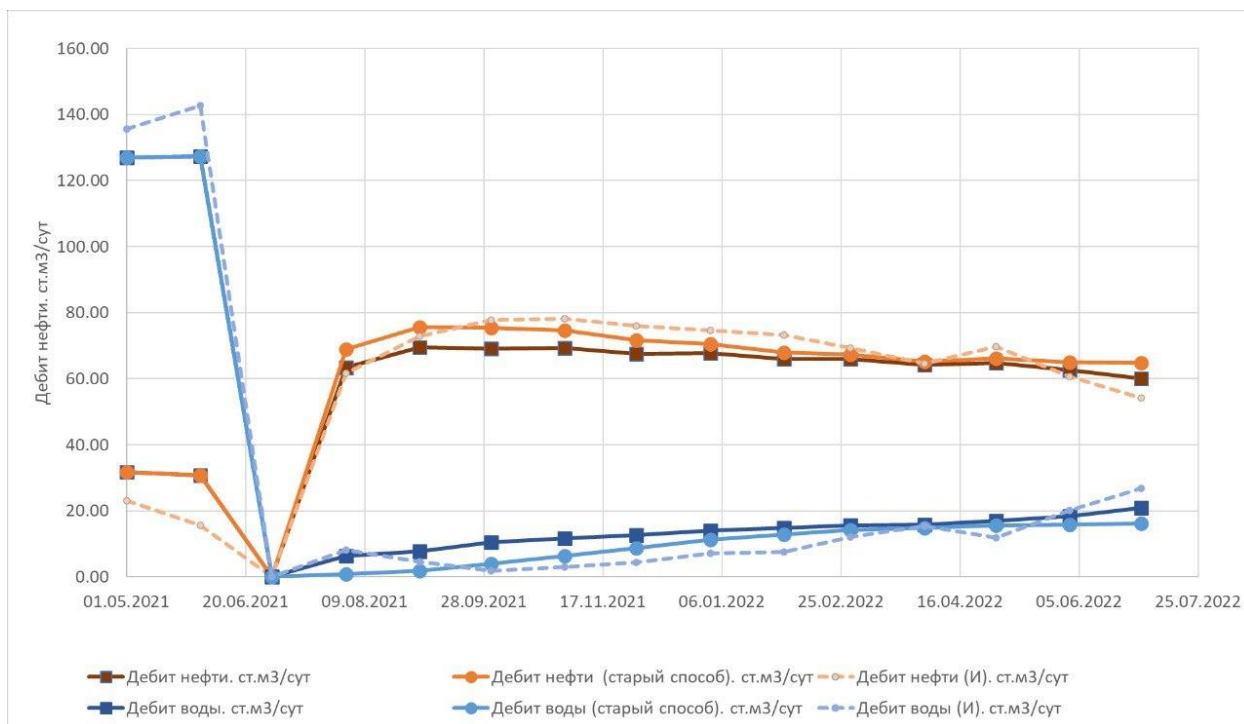


Рисунок 3.15 – Динамика показателей разработки (скв. №1)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

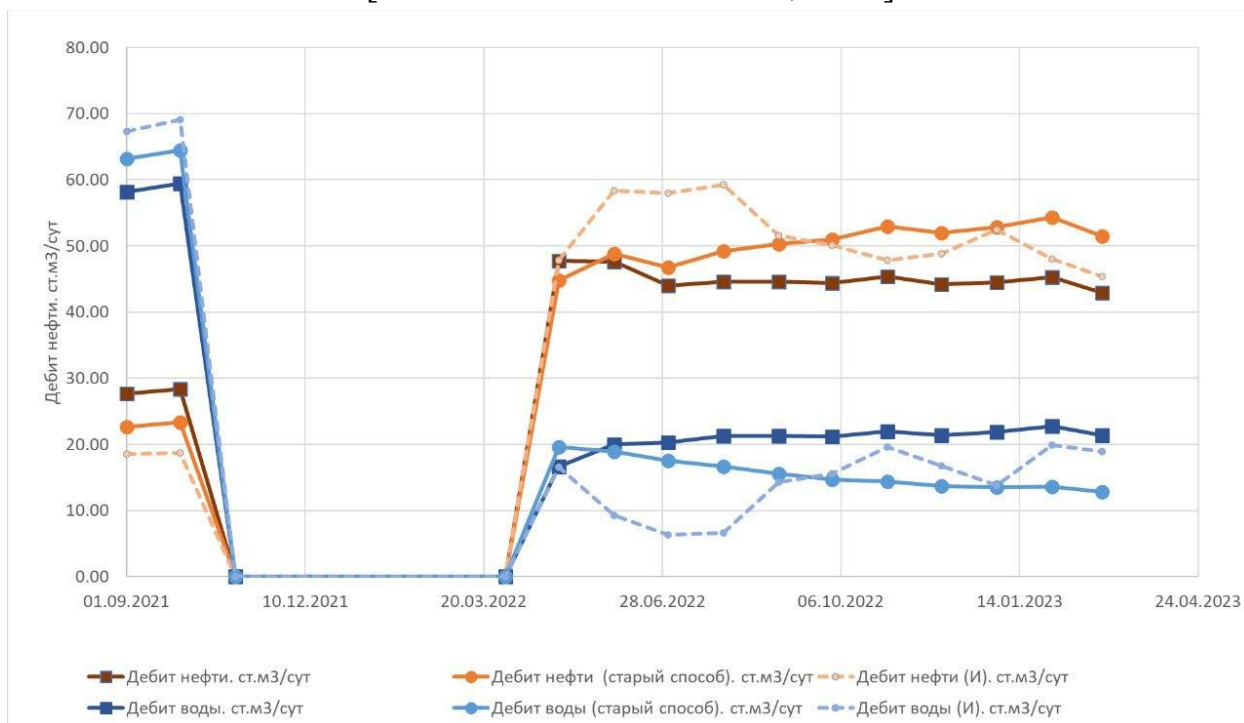


Рисунок 3.16 – Динамика показателей разработки (скв. №2)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

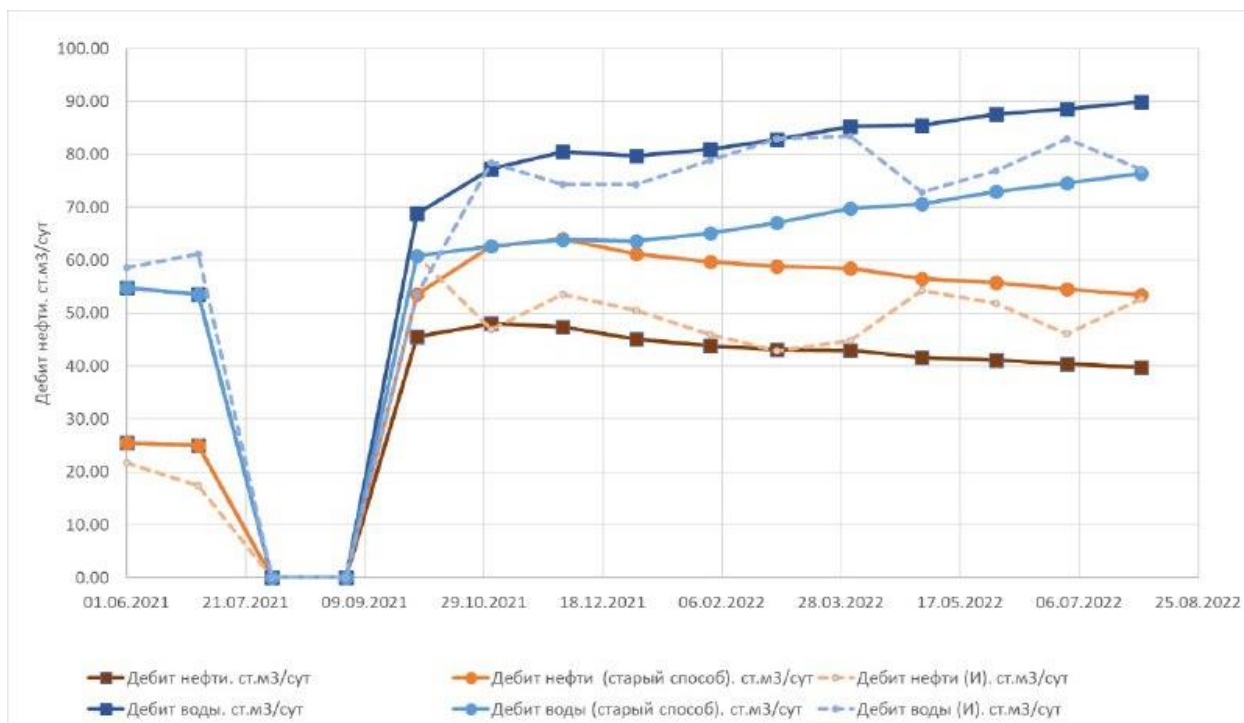


Рисунок 3.17 – Динамика показателей разработки (скв. №3)  
[Составил: Космачев А. Н., 2023]

Из графиков (Рисунки 3.15, 3.16, 3.17) видно, что дебиты скважин при моделировании новым способом достаточно близки к историческим данным.

Таким образом, была разработана новая методика моделирования БРИР с помощью симуляции закачки полимерного раствора. Новая методика позволяет получить более достоверные результаты БРИР в соответствии с историческими данными. Разработанная методика обладает универсальностью и хорошей прогнозной способностью, то есть при грамотной оптимизации параметров, методика может применяться как на скважинах-кандидатах конкретного месторождения X, так и на обводненных скважинах на аналогичных месторождениях. Методика позволяет усовершенствовать подход моделирования БРИР и сократить сроки на реализацию инвестиционного проекта.

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
2ТМ11	Космачеву Алексею Николаевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/ООП	21.04.01 Нефтегазовое дело

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оценка стоимости материально-технических, энергетических финансовых и других ресурсов при реализации НИИ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Действующие прецеденты
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс РФ от 31 июля 1998 года №146-ФЗ

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


1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований	Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование научно-исследовательских работ	Составление графика работ в рамках научно-технического исследования
3. Бюджет научно-технического исследования	Расчет материальных и эксплуатационных затрат, затрат на основные и дополнительные заработные планы

**Перечень графического материала:**

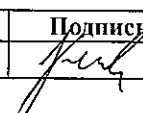
1. Оценочная карта;
2. SWOT-анализ

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	11.05.2023
---	------------

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рукавишников Валерий Сергеевич	PhD		11.05.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич		11.05.2023

## 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

При планировании научно-исследовательского проекта необходимо грамотно оценить его перспективность, не столько масштабом открытия, оценить которое в начале жизненного цикла бывает весьма затруднительно, сколько коммерческой ценностью разработки, то есть насколько востребована данная технология на целевом рынке и какой объем финансирования необходим для ее реализации.

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований**

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Темой данной выпускной квалификационной работы является: «Исследование механизмов обводнения скважин и борьба с ними на примере фаменского карбонатного резервуара месторождения X (Тимано-Печорская нефтегазовая провинция)». Потенциальными потребителями проекта могут являться нефтегазодобывающие предприятия, а также научно-исследовательские и проектные институты, занимающиеся вопросами добычи нефти из залежей с высоким риском обводнения скважин и методами борьбы с обводнением.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Такой анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет оценить сравнительную эффективность различных проектов. Для анализа взяты 2 типа проекта по тематике методов борьбы с обводнением скважин: технологические ( $K_1$ ) и физико-химические РИР ( $K_2$ ). Анализ конкурентных технических решений определяется по Формуле 4.1 и представлен в виде оценочной карты в Таблице 4.1.

$$K_i = \sum B_i \cdot V_i \quad (4.1)$$

где  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -ого показателя.

Таблица 4.1 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
		БК <sub>1</sub>	БК <sub>2</sub>	КК <sub>1</sub>	КК <sub>2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	4	5	0,36	0,45
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	3	4	0,24	0,32
3. Помехоустойчивость	0,06	2	3	0,12	0,18
4. Энергоэкономичность	0,08	3	3	0,24	0,24
5. Надежность	0,08	3	5	0,24	0,40
6. Уровень шума	0,05	3	5	0,15	0,25
7. Безопасность	0,08	2	4	0,16	0,32
8. Простота эксплуатации	0,08	2	4	0,16	0,32
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	4	4	0,20	0,20
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Конкурентоспособность технологии	0,05	4	5	0,20	0,25
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	3	4	0,09	0,12
3. Цена	0,06	3	4	0,18	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	3	5	0,21	0,35
5. Послепродажное обслуживание	0,08	4	3	0,32	0,24
6. Финансирование разработки	0,05	4	4	0,40	0,20
7. Наличие сертификации разработки	0,01	4	4	0,04	0,04
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>51</b>	<b>66</b>	<b>3,31</b>	<b>4,12</b>



В результате анализа полученных данных можно сделать вывод, что проект, связанный с физико-химическими РИР является более эффективным, как по многим показателям в отдельности, так и по итоговому баллу в целом. Итоговый балл конкурентоспособности предлагаемой технологии превышает 4, что допускает возможность ее глобального внедрения на рынок. Основными слабыми местами данной технологии является высокая энерго- и капиталозатратность. Однако, в настоящее время ведется активная разработка новых методов, способных значительно снизить данные параметры.

#### 4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – SWOT – анализ

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение обводненности скважин-кандидатов</li> <li>2. Уменьшение затрат на реализацию проекта</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Необходимость в точном подборе реагента в зависимости условий</li> <li>2. Необходимость учета геологических неопределенностей</li> </ol>
Возможности (O)	Угрозы (T)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Совершенствование методов борьбы с обводнением скважин</li> <li>2. Снижение времени подбора скважин-кандидатов для борьбы с обводнением</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Появление более эффективного метода борьбы с обводнением</li> <li>2. Погрешности в моделировании на симуляторе</li> </ol>

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

При создании нового продукта предприятию необходимо правильно планировать сроки выполнения отдельных этапов работ, учитывать расходы на материалы, зарплату. Для грамотного проектирования работ необходимо назначить соответствующие работы каждому исполнителю. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлен в Таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Разработка технического задания	1.1 Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
2. Выбор направления исследований	2.1 Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель, студент
	2.2 Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент
3. Теоретические исследования	3.1 Анализ литературы по теме проекта	Студент
4. Экспериментальные исследования	4.1 Реализация научно-технического исследования с помощью специализированного ПО	Студент
5. Заключительный этап	5.1 Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
	5.2. Оформление отчета по проделанной работе	Студент

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

#### *Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)*

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат также включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Расчет затрат на материалы приведен в Таблице 4.4

Таблица 4.4 – Расчет затрат на сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Количество	Единицы	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Электроэнергия	3	Руб./месяц	295	885
Интернет	3	М/бит (пакет)	350	1050
Печать	110	Руб./лист	5	550
Всего за материалы				2485
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				99,5
<b>Итого:</b>				<b>2584,5</b>

#### *Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ*

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работы. Расчет

стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, или договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты на его доставку и монтаж в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта учитывается в виде амортизационных отчислений. Расчет затрат на приобретение спецоборудования представлены в Таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет затрат на специальное оборудование

Наименование	Количество	Единицы	Цена за ед., руб.	Затраты на оборудование (Зо), руб.
Персональный компьютер	1	шт.	50000	50000
Затраты на доставку и монтаж (15% от стоимости)				7500
<b>Итого:</b>				<b>57500</b>

### ***Основная заработная плата***

В настоящую статью включается основная заработная плата работников, участвующих в выполнении проекта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда (включая премии, выплачиваемые из фонда заработной платы).

Рассчитаем основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату по Формуле 4.2 [17]:

$$C_{\text{ЗП}} = Z_{\text{осн}} \cdot Z_{\text{доп}} \quad (4.2)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) рассчитывается по Формуле 4.3:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.3)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по Формуле 4.4:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_m} \quad (4.4)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени работника, раб. дн.

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни;	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
- отпуск;	56	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	191	219

Месячный должностной оклад работника определяется по Формуле 4.5:

$$Z_m = Z_b \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.5)$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок;

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

Расчет основной заработной платы сводится в Таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	Тр, раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб
Научный руководитель	40000	0,3	0,2	1,3	78000	4083,8	66	269530,8
Студент	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2211,3	66	145945,8
<b>Итого:</b>								415476,6

### *Дополнительная заработная плата*

В данную статью включается оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т. п. Дополнительная заработная плата рассчитывается как 10-15% от основной заработной платы. Итоговый расчет зарплат приведен в Таблице 4.8

Таблица 4.8 – Расчет заработной платы сотрудников

Вид заработной платы	Научный руководитель	Студент
Основная	269530,8	145945,8
Дополнительная	40429,6	21891,9
<b>Итого:</b>	<b>477798,1</b>	

### ***Отчисления на социальные нужды***

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды и определяется по Формуле 4.6:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot k_p \quad (4.6)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и т.п).

Таким образом, общая сумма затрат на реализацию научного проекта составила 617365,9

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
2ТМ11		Космачев Алексей Николаевич	
<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 Нефтегазовое дело

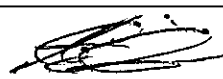
Тема ВКР:

<b>Исследование механизмов обводнения скважин и борьба с ними на примере фаменского карбонатного резервуара месторождения X (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция)</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования: механизмы обводнения фонда скважин месторождения X</i></p> <p><i>Область применения: разработка нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, моделирование нефтегазовых процессов</i></p> <p><i>Рабочая зона: офис</i></p> <p><i>Размеры помещения: 10*8 м<sup>2</sup>.</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 1 персональный компьютер, 1 стол и 1 офисное кресло</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: исследование механизмов обводнения фонда скважин месторождения X</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> <p>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Умственное перенапряжение</li> <li>2. Перенапряжение зрительного аппарата</li> <li>3. Отклонение показателей микроклимата</li> <li>4. Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>5. Повышенный уровень шума</li> </ol> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Поражение электрическим током</li> </ol> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> соблюдение режима труда и отдыха,</p>



	использование сертифицированного и исправного оборудования, соблюдение правил использования оборудования, поддержка комфортных условий труда в помещении <b>Расчет:</b> расчет воздухообмена в общественных помещениях
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	<b>Воздействие на селитебную зону:</b> отсутствует <b>Воздействие на литосферу:</b> отходы офисной техники, и их комплектующих <b>Воздействие на гидросферу:</b> отходы офисной техники, и их комплектующих <b>Воздействие на атмосферу:</b> отходы офисной техники, и их комплектующих
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<b>Возможные ЧС:</b> 1. Пожары, взрывы 2. Внезапное обрушение зданий, сооружений 3. Геофизические опасные явления (землетрясения) 4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления <b>Наиболее типичная ЧС:</b> пожар в офисном помещении
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>   11.05.2023	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н		11.05.2023

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич		11.05.2023

## **5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Выпускная квалификационная работа на тему: «Исследование механизмов обводнения скважин и борьба с ними на примере фаменского карбонатного резервуара месторождения X (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция)» предполагает комплексную оценку факторов, влияющих на обводнение скважин и разработку комплекса мероприятий по борьбе с этой проблемой с помощью инструментов компьютерного моделирования. Работа над магистерской диссертацией осуществляется в офисном помещении с использованием персонального компьютера.

Любая работа предполагает наличие вредных или опасных факторов, влияющих на психофизиологическое состояние человека, его работоспособность и эффективность, именно поэтому необходима грамотная организация работы для достижения наилучшего результата.

Целями исследования данного раздела ВКР являются: изучение основных правовых и организационных вопросов безопасности на рабочем месте, анализы опасных и вредных факторы трудовой деятельности, разработка комплекса мероприятий, снижающих негативное воздействие проектируемой деятельности на работников, общество и окружающую среду, оценка экологической безопасности и безопасности в чрезвычайной ситуации.

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

5.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно Трудовому Кодексу Российской Федерации, № 197 -ФЗ [17] каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят

на работах с вредными и (или) опасными условиями труда;

- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

### 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для минимизации вредных психофизиологических факторов таких как монотонность труда, эмоциональное и умственное напряжение, статические нагрузки, следует организовать рабочие места, согласно требованиям, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [13], ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009 [7-10]:

- высота над уровнем пола рабочей поверхности, должна составлять 720 мм;
- оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм;
- под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм, рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола, длина подставки 400 мм, ширина – 350 мм.
- расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м;
- экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии от 600 до 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;
- конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение используемого оборудования с учетом характера выполняемой работы;
- поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения

от 0,5 до 0,7;

- конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины; тип рабочего стула выбирается с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПК (Рисунок 5.1).

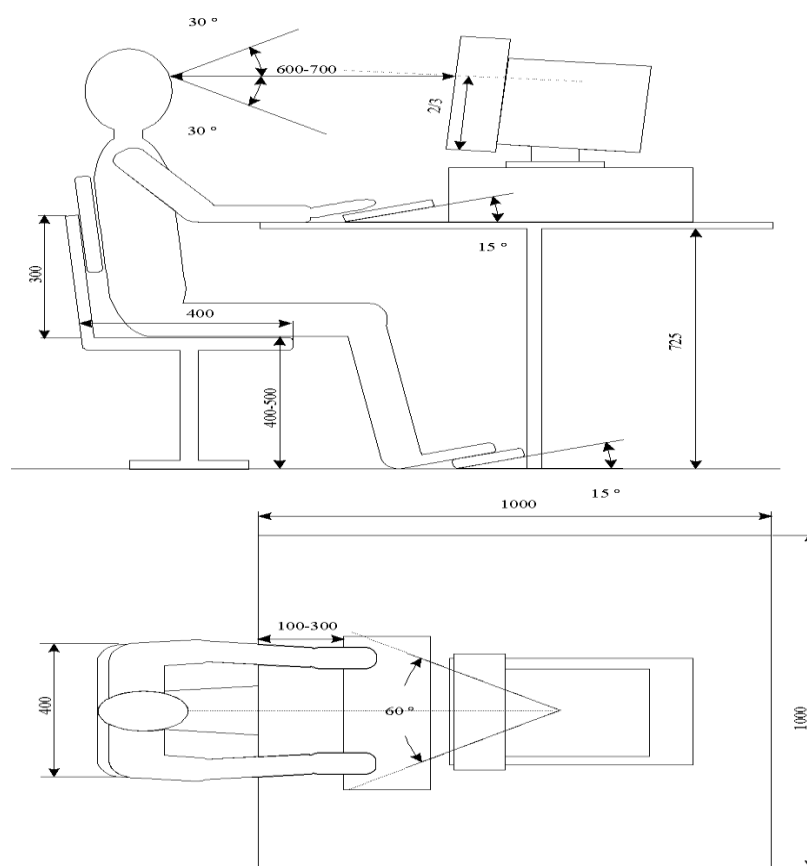


Рисунок 5.1 – Эргономика рабочего места

## 5.2 Производственная безопасность

Опасным называется фактор, воздействие которого на работающего человека в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Если же производственный фактор приводит к заболеванию или снижению трудоспособности, то его считают вредным. В зависимости от уровня и продолжительности

воздействия вредный производственный фактор может стать опасным. Среди представленных в стандарте ГОСТ 12.0.003-15 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ) [1]. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» опасных и вредных факторов для данной деятельности был выбран перечень, представленный в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные производственные факторы

Вредные и опасные факторы (ГОСТ 12.0.003-15)	Нормативные документы
1. Умственное перенапряжение	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)
2. Перенапряжение зрительного аппарата	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
3. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
5. Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
6. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений

	прикосновения и токов
--	-----------------------

### 5.2.1 Умственное перенапряжение

Систематические переработки, хроническая усталость способны привести к серьезным последствиям для здоровья. Переутомление влияет на результаты деятельности: усталость понижает интерес к работе, начинают преобладать отрицательные эмоции: от повышенной раздражительности до безразличия, апатии. Проявления переутомления могут быть разными: нарушения сна, головные и мышечные боли, сердцебиение, слабость, подавленность, плохая сопротивляемость инфекциям. Для профилактики умственного перенапряжения работника необходимо: соблюдать режима труда и отдыха (необходим перерыв не менее 30 минут при работе в 8-часовую смену), устраивать физические тренировки, соблюдать режим сна и поддерживать правильное питание [15].

### 5.2.2 Перенапряжение зрительного аппарата

Монитор компьютера является источником света из-за чего при работе с персональным компьютером зрительный анализатор находится в постоянном напряжении. Перенапряжение зрительного аппарата приводит к снижению остроты зрения, вызывает слезотечение или сухость глаз, приводит к возникновению головных болей. В целях профилактики перенапряжения зрительного аппарата в Таблице 5.2 приведены допустимые визуальные параметры устройств отображения информации.

Таблица 5.2 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/м <sup>2</sup>
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более ±20%
Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение положения фрагментов изображения экрана)	Не более $2 \times 10(-4L)$ , где L - проектное расстояние наблюдения, мм

### 5.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это комплекс физических факторов внутренней среды помещений, который оказывает влияние на тепловой баланс человека с окружающей средой. Микроклимат в производственных помещениях характеризуют следующие показатели: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти показатели должны обеспечить поддержание оптимального теплового состояния организма в течение 8-часовой рабочей смены.

СанПиН 2.2.4.548-96 [15] устанавливает нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий (Таблица 5.3). Эти нормы принимают во внимание: время года – холодный период с температурой +10°C и ниже и теплый период с температурой +10°C и выше; категорию работ – работа в офисе относится к категории Ia - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением.

Неблагоприятный уровень микроклимата может способствовать возникновению у человека следующих последствий:

- Нарушение терморегуляции, в результате которого возможно повышение температуры, обильное потоотделение, слабость.
- Нарушение водно-солевого баланса, может привести к слабости, головной боли, судорожной болезни.



Таблица 5.3 – Оптимальные значения показателей микроклимата на рабочем месте производственного помещения для работ категории Ia

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Для профилактики и защиты от неблагоприятного воздействия изменений микроклимата можно обеспечить защитные мероприятия, такие как соблюдение регламента времени работы, функционирование систем местного обогрева, охлаждения и кондиционирования воздуха.

#### ***Определение воздухообмена в рабочем помещении***

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемый людьми углекислый газ (CO<sub>2</sub>). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислого газа, выделяемого работниками и по допустимой концентрации его. В аудитории №227 (корпус №19 ТПУ), где проводилось написание магистерской диссертации, максимально может находиться 24 взрослых человека, находящихся в покое.

Один взрослый человек в состоянии покоя выделяет 35 г/ч CO<sub>2</sub>. Рассчитаем количество CO<sub>2</sub>, выделяемое всеми работниками по Формуле 5.1:

$$G = N_{\text{людей}} \cdot g_{\text{CO}_2} \quad (5.1)$$

где  $G$  – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения, г/ч;

$N_{\text{людей}}$  – количество людей в помещении;

$g_{CO_2}$  – количество CO<sub>2</sub>, г/ч.

$$G = 24 \cdot 35 = 840 \text{ г/ч}$$

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 1.2.3685-21, предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны помещения и максимально возможная концентрация вещества в воздухе населенных мест равны 9000 и 1000 мг/м<sup>3</sup> соответственно [4,13].

Потребный воздухообмен определяется по Формуле 5.2:

$$L = \frac{1000 \cdot G}{x_B - x_H} \quad (5.2)$$

где  $L$  – потребный воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч;

$x_B$  – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88, мг/м<sup>3</sup>;

$x_H$  – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест по СанПиН 1.2.3685-21, мг/м<sup>3</sup>.

$$L = \frac{1000 \cdot 840}{9000 - 1000} = 105 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Кратность воздухообмена определяется по формуле 5.3:

$$n = \frac{L}{V} \quad (5.3)$$

где  $V$  – внутренний объем помещения, м<sup>3</sup>.

$$n = \frac{105}{10 \cdot 8 \cdot 4} = 0,328 \text{ 1/ч}$$

Согласно СП 2.2.3670-20, данная кратность воздухообмена допустима, так как  $n < 10 \text{ ч}^{-1}$ .

#### 5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность – световая энергия, обеспечивающая комфортные условия для наблюдения за предметами и объектами. Освещенность воздействует на самочувствие работников, определяя эффективность трудовой деятельности. От освещения зависит качество получаемой информации, ведь плохое освещение в качественном и количественном отношении утомляет зрение и вызывает утомление всего организма. Если освещение организовано иррационально, это может послужить причиной травматизма: недостаточно освещенные опасные зоны, ослепляющий свет, блики, тени, пульсации освещенности затрудняют видимость и вызывают неправильное восприятие объектов. В связи с этим рациональная организация освещения производственных помещений это одно из главных требований для создания оптимальных условий труда. В соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями рабочее место должно освещаться смешанным освещением, т.е. естественным и искусственным светом.

СанПиН 1.2.3685-21 [13] устанавливает минимальную освещенность рабочей поверхности в производственных помещениях в соответствии с видом производимой деятельности, а СП 52.13330.2016 – в соответствии с характеристикой зрительной работы, которая определяется наименьшим размером объекта различения, контрастностью и свойствами фона. При выполнении данной ВКР используется персональный компьютер, поэтому можно сделать вывод о том, что при общем освещении минимальная искусственная освещенность должна быть выше 150 лк. Все зрительные работы в соответствии с СП 52.13330.2016 [16] разбиваются на восемь разрядов и в соответствии с размером объекта различения, а также условий зрительной работы. Работа офисного работника относится к 4г разряду зрительной работы, нормы освещенности на рабочем месте при искусственном освещении представлены в Таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Нормы освещенности на рабочем месте производственного помещения при искусственном освещении

Характеристика зрительной работы		Средняя точность (4 разряд)		
Минимальный размер объекта, мм		0,5 – 1,0		
Подразряд зрительной работы		Г		
Контрастность фона		Средняя	Большая	Большая
Свойство фона		Светлый	Светлый	Средний
Освещенность, лк	Комбинированное	300	300	300
	Общее	150	150	150

### 5.2.5 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Слух практически наравне со зрением необходим человеку, он позволяет человеку владеть звуковыми и зрительными информационными полями. При длительном воздействии шум вызывает ухудшение слуха или даже глухоту. Шум на рабочем месте негативно воздействует на работников: уменьшается внимание, ухудшается скорость психических реакций, растрачивается больше энергии при одинаковых физических нагрузках и т.д. А в итоге значительно падает производительность труда и соответственно качество проделанной работы.

К основным источникам шума на рабочем месте в офисном помещении можно отнести компьютеры, мониторы, принтеры, кондиционер и работающие светильники люминесцентных ламп. А также шум, возникающий вне кабинета через открытые окна и двери.

ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» является нормативным документом, регламентирующим уровень шума на рабочем месте. Согласно ему, на рабочем месте максимальный уровень шума 50 дБА (категория напряженности труда I и категория тяжести труда I). В таблице 5.5 приведены предельные уровни звукового давления в октавных полосах, а также предельные уровни звука для видов работ, выполняемых специалистом в процессе работы [2].

Таблица 5.5 – Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Офисное помещение	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Если уровень шума в помещении выше допустимого, то необходимо принимать меры по снижению его уровня. Например, для снижения шума систем вентиляции и кондиционирования воздуха можно использовать различные глушители, Средства индивидуальной защиты органов слуха — это наушники, заглушки, вкладыши. Однако они должны использоваться лишь как дополнение к коллективным средствам защиты.

#### 5.2.6 Поражение электрическим током

Электрический ток, проходя через организм человека может вызвать ожоги, нарушение работы мышечной системы, изменение физико-химического состава крови, а также смерть. Основными источниками электрической опасности на данном рабочем месте являются вычислительная техника и электрические сети.

Электробезопасность и допустимые значения напряжений прикосновения и токов регламентируются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), ГОСТ 12.1.038-82 [6] и ГОСТ 12.1.019-2009 (с изм.№1) ССБТ [5] (Таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с												
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0	
Переменный 50 Гц	U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20	
	I, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6	

Существуют следующие способы защиты от поражения электрическим током на данном рабочем месте: защитное заземление, зануление, защитное отключение, электрическое разделение сетей разного напряжения, изоляция токоведущих частей. Все работники должны быть осведомлены о правилах работы с электрооборудованием.

### 5.3 Экологическая безопасность

При работе с персональным компьютером в рамках выполнения данной выпускной квалификационной работы основными источниками загрязнения литосферы, атмосферы и гидросферы являются отходы от использования офисной техники (ее комплектующие, бумажная макулатура), а также люминесцентные лампы и батарейки. Все эти отходы согласно Федеральному классификационному каталогу отходов принадлежат к различным классам опасности. Например, металлические детали, не содержащие тяжелых металлов, а также бумага и картон относятся к V классу опасности; трансформаторы и провода к III; платы и аккумуляторы, которые содержат свинец, кадмий или олово, относятся ко II классу опасности; и наконец, ртутные лампы, используемые в ПК, являются чрезвычайно опасными, поэтому отнесены к I классу [12].

Для обеспечения экологической безопасности, при использовании ПК и другой техники, отходы необходимо утилизировать в соответствии со всеми

правилами. Переработка вторичного сырья, дает возможность сохранять природные ресурсы и эффективно использовать переработанные материалы. Это касается не только ПК и комплектующих, а также бумаги и др. Отходы в виде макулатуры и периферии ПК в обязательном порядке сдаются в специальные аккредитованные центры утилизации.

Макулатура – изделия из бумаги и картона, вышедшие из употребления, один из видов твердых бытовых отходов, вторичное сырье, которое перерабатывается и идет на изготовление туалетной и типографской бумаги, картона для упаковок и тары, волокнистых плит, теплоизоляционных, кровельных и другого рода строительных материалов.

Отходы компьютеров и другой техники могут негативно сказаться на экологической обстановке, поэтому бездумное выбрасывание их на свалку может привести к серьезным последствиям. Запчасти, в которых есть свинец, ртуть, олово, отравляют почву и атмосферу, что приводит к гибели живых организмов. Кроме того, незаконный выброс опасного мусора привлечет к административной ответственности и обычных граждан, и юридических лиц.

Учитывая, что разбираемые запчасти имеют разную степень опасности, их сортируют по вредности, чтобы легче было перевозить, перерабатывать или складировать на полигонах. Так, детали I и II класса хранятся в специально оборудованном, изолированном помещении. При этом отходы ПК упаковываются в герметичные контейнеры и цистерны с толщиной стенок минимум в 10 мм и могут храниться не более 24 часов на одном месте.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 [11], ЧС — это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или

экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений) и т. д.

При выполнении данной магистерской диссертации наиболее характерны следующие виды ЧС:

- Пожары, взрывы;
- Внезапное обрушение зданий, сооружений;
- Геофизические опасные явления (землетрясения);
- Метеорологические и агрометеорологические опасные явления.

Так как выполнение ВКР представляет из себя работу за персональным компьютером, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в офисном помещении.

В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями. Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Задачи пожарной профилактики можно разделить на три комплекса мероприятий: обучение, в том числе распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям); пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения; обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования) [3].

Для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться



подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей. Также помещения должны быть оснащены средствами пожаротушения, а именно огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники).

В ходе выполнения данного раздела ВКР проанализированы основные правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека, описаны мероприятия по их устранению, приведены организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, а также произведен расчёт воздухообмена в офисном помещении. Были выделены рекомендации по обеспечению экологической безопасности, а также рассмотрены основные возможные чрезвычайные ситуации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы являлась оценка на секторных моделях причин обводнения скважин, эксплуатирующих массивную карбонатную залежь. Для достижения заданной цели были выполнены основные задачи работы.

1. Проведен литературный обзор существующих механизмов обводнения скважин;

2. Изучены различные методы борьбы с обводнением скважин и опыт применения различных методов на месторождениях-аналогах;

3. Проанализированы результаты проведенных работ по изоляции водопритока на массивном карбонатном резервуаре месторождения X и определена исходная информация для гидродинамического моделирования БРИР;

4. Разработана методика моделирования БРИР с помощью симуляции закачки полимерного раствора с концентрацией 0,2 и дебитом 300 м<sup>3</sup>/сут на протяжении 10 дней.

Разработанная методика по данным исследования в рамках выпускной квалификационной работы является эффективным и универсальным инструментом моделирования БРИР на скважинах, эксплуатирующих карбонатную залежь. Динамика показателей разработки по новой методике близка к историческим показателям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Нормативные документы

1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015. – 3 с.
2. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности, 2007. – 10 с.
3. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования, 1991. – 66 с.
4. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны, 1988. – 42 с.
5. ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты, 2009. – 26 с.
6. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, 1982. – 7 с.
7. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования, 1978. – 9 с.
8. ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 4. Требования к клавиатуре, 2009. – 40 с.
9. ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 5. Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора, 2009. – 38 с.
10. ГОСТ Р ИСО 9241-7-2007. Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ). Часть 7. Требования к дисплеям при наличии отражений, 2007. – 28 с.

11. ГОСТ Р 22.0.02-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях, 1994. – 46 с.
12. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов», 2022. – 470 с.
13. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечиванию безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, 2021. – 30 с.
14. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003. – 54 с.
15. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996. – 20 с.
16. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996. – 8 с.
17. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение, 2016. – 116 с.
18. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ, 2023. – 210 с.

### **Опубликованная литература**

19. Алтунина, Л. К. Физико-химические технологии с применением зольей, гелей и композиций ПАВ для увеличения нефтеотдачи месторождений на поздней стадии разработки / Л. К. Алтунина, В. А. Кувшинов, И. В. Кувшинов // Георесурсы. – №4(59). – 2014. – С. 20-27.
20. Байкова, Е. Н. Опыт применения технологий ограничения водопритока и ремонтно-изоляционных работ в трещиноватых карбонатных коллекторах / Е. Н. Байкова, Р. Х. Муслимов // Георесурсы. – Т.18, №3, Ч.1. – 2016. – С. 175-185. DOI: 10.18599/grs.18.3.6.

21. Белонин, М. Д. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения / Белонин М. Д., Прищепа О. М., Теплов Е. Л. и др. - С.-Петербург, Недра, 2004. - 396 с.
22. Богацкий, В. И. Тимано-Печорский седиментационный бассейн (объяснительная записка к «Атласу геологических карт» / Богацкий В. И., Ларионова З. В., Довжикова Е. Г., Галкина Л. В. и др. – Ухта: Изд-во ТП НИЦ, 2002 – 122 с.
23. Большеобъемная закачка гелеобразующих составов как способ изоляции конуса обводненности в карбонатных пластах / А. М. Петраков, А. В. Фомкин, А. Н. Степанов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – №2. – 2023. – С. 33-37. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-2-33-37.
24. Витязев, Я. Д. Анализ текущего состояния и перспективы разработки Висового нефтяного месторождения / Я. Д. Витязев, О. В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – №4. – 2021. – С. 231-246.
25. Демахин, С.А. Селективные методы изоляции водопритока в нефтяные скважины / С.А. Демахин, А.Г. Демахин // Саратов. Изд-во ГосУНЦ «Колледж». – 2003. 164 с.
26. Екименко, А. В. Прогноз свойств геологического разреза среднедевонско-нижнефранского нефтегазоносного комплекса Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции по сейсмическим данным : автореф, дисс. канд. г.-м.н. : Екименко Антон Валерьевич; С.-Петерб. гос. гор. ин-т им. Г.В. Плеханова]. - Санкт-Петербург, 2010. – 125 с.
27. Ефимов, Н. Н. Технологии ОВП в нефтяных скважинах и пути повышения эффективности РИР / Н. Н. Ефимов // Инженерная практика. – №7. – 2011.
28. Ибрагимов, Н. Г. Технология изоляции водопритока в скважины обводненных карбонатных коллекторах / Н. Г. Ибрагимов, И. М. Новиков, Р. Р. Латыпов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. С. 220-224.

29. Каламкар, Л.В. Нефтегазоносные провинции и области России и сопредельных стран: Учебник для вузов. - М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. -2-е изд. испр. и доп.-576 с.
30. Макашкин, С. В. Оценка возможности применения гелей на основе солей алюминия для регулирования фильтрационных потоков в карбонатных коллекторах // С. В. Макашкин, Т. С. Рогова, Ю. А. Егоров // ВНИИНефть. – №155. – 2016. – С. 22-36.
31. Мусихин, А. Д. Литология и прогноз пространственного распространения пород-коллекторов фаменских нефтегазоносных отложений восточной части Центрально-Хорейверского уступа : автореф. дисс. канд. г.-м.н.: / Мусихин Артем Дмитриевич ; Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина. - Москва, 2016. – 150 с.
32. Никитин, М. Н. Гелеобразующий состав на основе силиката натрия для ограничения водопритока в сложнопостроенных трещинных коллекторах // М. Н. Никитин, А. В. Петухов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – №5. – 2011. – С. 143-153.
33. Объяснительная записка к «Государственной Геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200000, издание второе, серия Полярно-Уральская, листы Q-41-I,II» / В.А. Жарков, Н.В. Налимов, Н.В. Романова [и др.] – С.-Петербург. – 2000.
34. Петрова Л.В. Условия формирования и прогноз резервуаров в верхнедевонских карбонатных отложениях Хорейверской впадины: автореферат диссертации кандидата геолого-минер. наук: 04.00.17 / Институт геологии. – Сыктывкар, – 1996. –15 с.
35. Савенок, О. В. Анализ причин снижения нефтеотдачи на Западно-Хоседаюском месторождении и рекомендации для внедрения геолого-технических мероприятий / О. В. Савенок., Е. У. Сафиуллина // Булатовские чтения т.1, С.-Петербург, СПГУ. – 2022. – С. 290-298.
36. Степанов, А. Н. Большеобъемные ремонтно-изоляционные работы – как эффективный способ борьбы с конусообразованием / А. Н. Степанов, Г.

А. Фурсов, Д. М. Пономаренко // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – №8 (2). – 2023. С. 105-111. DOI: 10.51890/2587-7399-2023-8-2-105-111

37. Султанов, В. И. Тектоническое строение Хорейверской впадины (в пределах лицензионного участка, включающего нефтяные месторождения имени Г. Фёдорова и А. Туполева) / В. И. Султанов // Журнал «Молодой ученый». – №19(205). – 2018. – С. 250-251.

38. Шараев, В. А. Технология обратного конуса - как эффективный метод снижения обводненности на поздней стадии эксплуатации коллекторов с подошвенной водой / В. А. Шараев, Ю.А. Гуторов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – № 6. – 2012. – С. 258-264.

39. Bailey, B. The Challenge of Water Control / B. Bailey, M. Crabtree, J. Tyrie [и др.] // Oilfield Rev. – №12. – 2000. – P. 30–51.

40. Bournazel, C. Fast Water-Coning Evaluation Method / C. Bournazel, B. Jeansson // SPE Paper 3628. – 1971. – P. 1-12. DOI: 10.2118/3628-MS.

41. Jaripatke, O. Water-Control Management Technologies: A Review of Successful Chemical Technologies in the Last Two Decades / O. Jaripatke, D. Dalrymple // Paper presented at the SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, USA. – 2010. DOI: 10.2118/127806-MS.

42. Holmberg, K. Surfactants And Polymers in Aqueous Solution / K. Holmberg, B. Johnsson, B. Kronberg // ISBN 0-471-49883-1.

43. Insulation of Water Flows and Interval Treatment of the Formation in Conditions of Crack-Pore Collectors / A. Khaladov, R. Mollaev, M. Bakraev [et. al.]. – 2021. DOI: 10.34708/GSTOU.CONF.2021.11.48.021.

44. Liang, J.-T. Gel Placement in Production Wells / J.-T. Liang, R. L. Lee, R. S. Seright // SPE Prod & Fac. - № 8(04). – 1993. DOI: 10.2118/20211-PA.

45. Okon, A. Water Coning Prediction Review and Control: Developing an Integrated Approach / A. Okon, D. Appah, J. Akpabio // Journal of Scientific Research and Reports. – №14(4). – 2017. – P. 1-24.

46. Prasun, S. Development of Water Coning Control Design Metrics in Naturally Fractured Reservoirs / S. Prasun // LSU Doctoral Dissertations. – 2020.

47. Sagbana, P. I. A Comprehensive Review of the Chemical-based Conformance Control Methods in Oil Reservoirs / P. I. Sagbana, A. S. Abushaikha // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – №11. – 2021. – P. 2233-2257. DOI: 10.1007/s13202-021-01158-6.

48. Solving Excessive Water Production in a Prolific Long Horizontal Open Hole Drilled in a Naturally Fractured Carbonate Reservoir / S. Lightford, E. Pitoni, G. Burrafato [et al.] // Paper presented at the SPE Coiled Tubing and Well Intervention Conference and Exhibition, USA. – 2008. DOI: 10.2118/113700-MS.

49. Sharma, H. K. An Effective Use of New Generation Adaptive Completion for Successful Water Shut-Off in Fractured Carbonate Reservoirs / H. K. Sharma, Q. K. AlKhalifah, A. Al-Mulhim, H. Al-Shabibi // International Petroleum Technology Conference. – 2020. – 10 p.

50. Taha, A. Overview of Water Shutoff Operations in Oil and Gas Wells: Chemical and Mechanical Solutions / A. Taha, M. Amani // ChemEngineering. – №3 (51). – 2019.

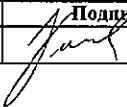
51. Water Shutoff and Zonal Isolation for High Permeability Depleted Reservoir Using Organically Crosslinked Polymer Sealant System / N. Al-Azmi, S. Al-Sabea, A.-E. Abdullah [et al.] // SPE-201577-MS. – 2020. DOI: 10.2118/201577-MS.



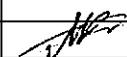
## Приложение А

### ANALYSIS OF WATER INFLUX MECHANISMS IN WELLS AND METHODS TO PREVENT THEM

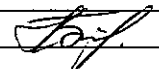
Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ11	Космачев Алексей Николаевич		11.05.2023

Консультант школы отделения ИШПР, ОНД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Матвеев И. В.	к.ф.-м.н.		11.05.2023

Консультант – лингвист отделения ИШПР, ОИД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Болсуновская Л.М.	к.ф.н		11.05.2023

## A.1 Analysis of Water Influx Mechanisms in wells

Currently, a large number of oil fields are in the final stages of development, characterized by significant water production. Due to the excessive influx of water into the well, a considerable amount of hydrocarbon reserves remain untapped, the projected oil recovery factor is not achieved, and the development of such a project becomes economically unfavorable. However, water influx in wells can also occur at earlier stages of operation due to various geological, hydrodynamic, or technological factors.

The main cause of water influx in wells is considered to be an improperly designed development system, especially when the reservoir is characterized by a high degree of heterogeneity. For example, in the case of reservoir development under water-drive conditions, the oil-water contact constantly moves upward towards the wellbore perforation zone, which can lead to premature water production increase (Figure 1.1).

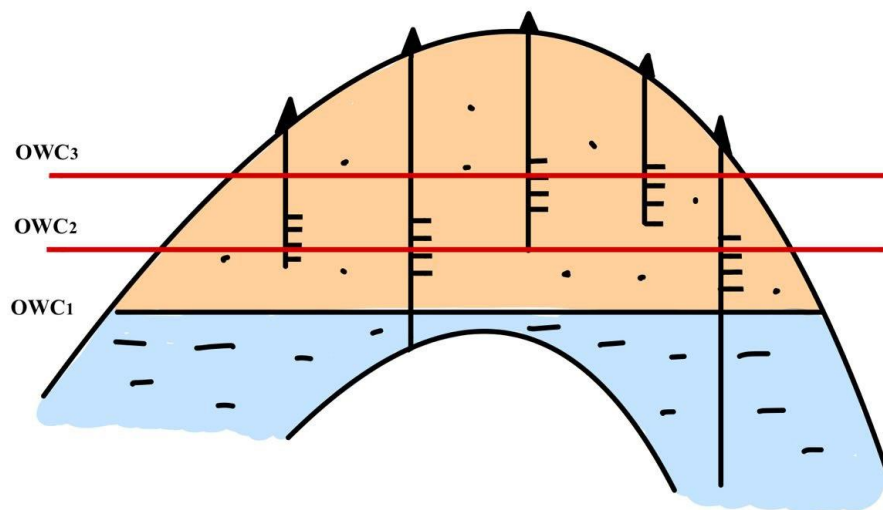


Figure 1.1 Movement of WOC during the production

Water breakthrough from the bottom of the reservoir can also occur when, due to high vertical permeability, water does not displace oil from the top of the reservoir, descending towards the bottom under the influence of gravitational forces. The situation is exacerbated by the significant difference in mobility

between water and oil. Due to the pressure gradient increase in the near-wellbore zone of producing wells, water cones or fingers form, resulting in water breakthrough into the wellbore (Figure 1.2).

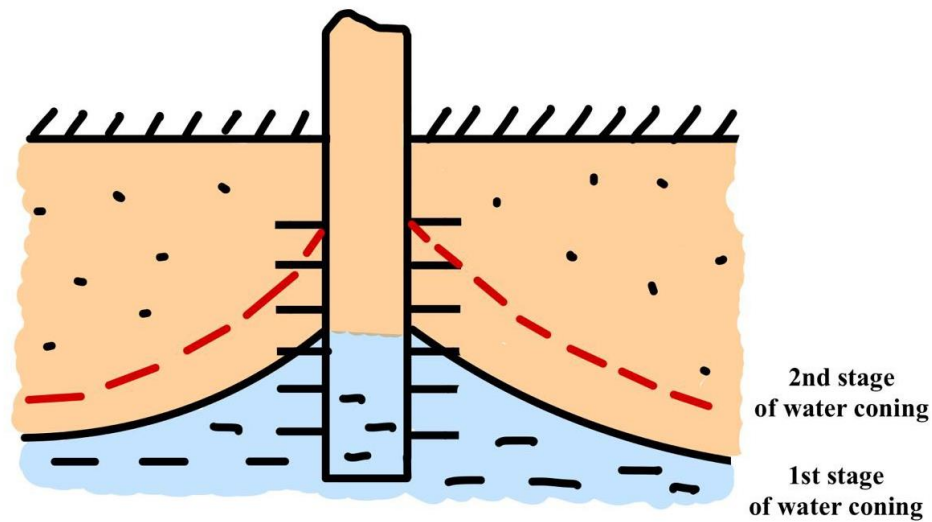


Figure 1.2 Mechanism of water coning

Another geological factor that can contribute to water influx in a well is the presence of high-permeability streaks separated by impermeable clay barriers. In the case of water flooding for enhanced oil recovery, uneven depletion of all reservoir zones is observed, as water moves faster through the high-permeability streaks without displacing the oil (Figure 1.3).

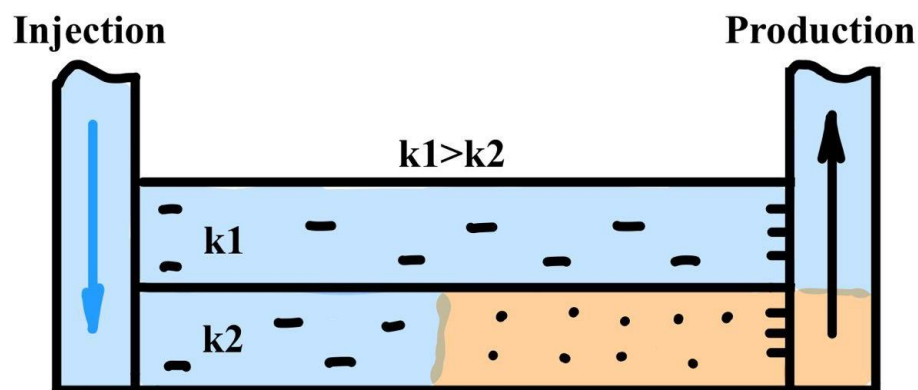


Figure 1.3. Filtration of oil and water through layers with different permeabilities

In naturally fractured reservoirs, water breakthrough can occur through natural high-permeability channels such as fractures or faults. Poor design of hydraulic fracturing treatments can also lead to water breakthrough, especially when the producing well is in close proximity to a water-bearing horizon (Figure 1.4).

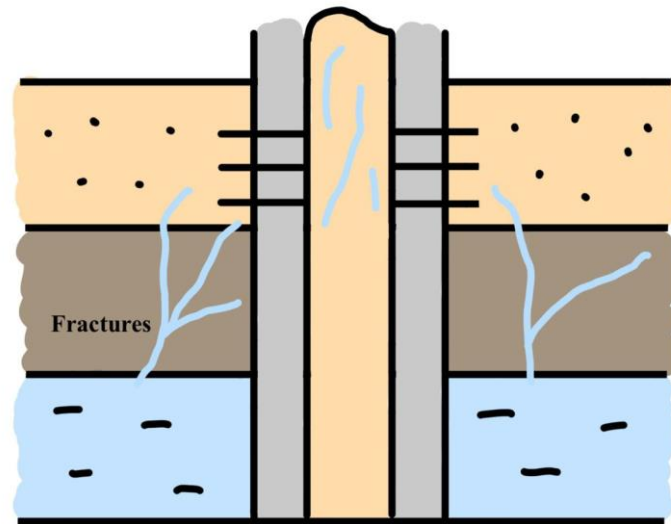


Figure 1.4. Water movement through the fractures

From a technological perspective, water breakthrough can be caused by inadequate sealing of the production tubing, pump-compressor pipes, or packers (Figure 5). The presence of behind-casing flows due to poor cementing operations or damage during acid treatments or hydraulic fracturing not only increases the likelihood of water influx but also poses a serious threat to the integrity of the entire well structure [1].

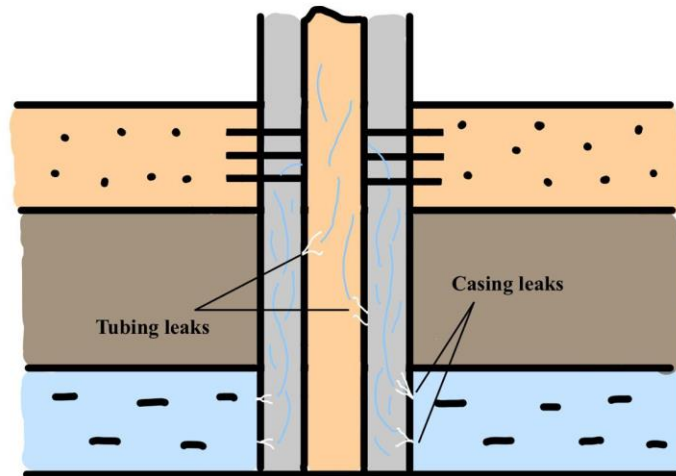


Figure 1.5. Water breakthrough from tubing or casing leaks

This thesis addresses the issue of water influx in wells associated with carbonate reservoirs in the Timan-Pechora oil and gas-bearing province. Hydrocarbon production from carbonate reservoirs is accompanied by numerous challenges due to the presence of numerous natural highly conductive fractures and caverns, as well as intervals with high heterogeneity in permeability. The high degree of heterogeneity in carbonate rocks leads to early water breakthrough into the producing well and rapid increase in well water cut within a short period. Timely monitoring and control of water influx in such conditions become even more critical than in terrigenous formations [2].

## **A.2 Overview of Water Influx Control Technologies and Remedial Isolation Works**

To prevent premature water breakthrough, it is crucial to design the development system properly and optimize production regimes. For example, water breakthrough can be avoided if the development is carried out at a production rate that does not exceed the maximum critical water coning rate. The maximum oil rate, filtration velocities, and water cone movement can be designed by solving the unsteady-state filtration problem.

Another method to combat water coning is the technology of creating a reverse cone [3]. The technique involves initially perforating the water-saturated

interval of the reservoir, followed by forced water production. As water is produced from the reservoir, the oil-water contact is pushed down, and in turn, the oil is drawn downwards, thereby blocking the water-saturated interval in the near-wellbore zone. Subsequently, the perforation is isolated, and the next perforation is made opposite the oil-saturated part of the reservoir.

To prevent water movement through a high-permeability reservoir, simultaneous and selective production methods are utilized. The Simultaneous and Selective Completion (SSC) method is employed to exploit two or more reservoirs using a single well, aiming to reduce the risk of premature water breakthrough and enhance oil recovery. Simultaneous and selective production is achieved by equipping the wells with equipment that isolates the productive reservoirs or by utilizing specially designed well structures.

If the previous methods to restrict water influx cannot guarantee the elimination of premature water breakthrough, it is necessary to consider remedial isolation works. All remedial isolation works (RIW) are classified into four groups based on their principles of action:

- isolation of individual watered intervals of the reservoir;
- isolation of specific reservoirs with no productivity or influx;
- correction of cement ring leaks;
- cement ring extension behind the production and intermediate casings

All methods of RIW can be classified into 2 main groups: technical and physico-chemical.

### **A2.1 Technical Remedial Isolation Works**

Special wellbore devices and constructions are utilized as technical methods to eliminate water influx, capable of isolating lower perforation intervals during the rise of the free water level / cone formation or segregating oil and water-bearing reservoirs.

In [4], the use of a bridge plug to isolate the lower part of the wellbore from water ingress is described (Figure 1.6-a). The installation of such isolation devices

can be performed during the initial stage of well operation, during well completion. Bridge plugs can also be used in injection wells to prevent water from entering permeable channels or fractures (Figure 1.6-b). Moreover, when injecting chemical agents into the reservoir, there is a risk of them entering the productive zone of the formation, and the installation of such a bridge plug helps address this problem.

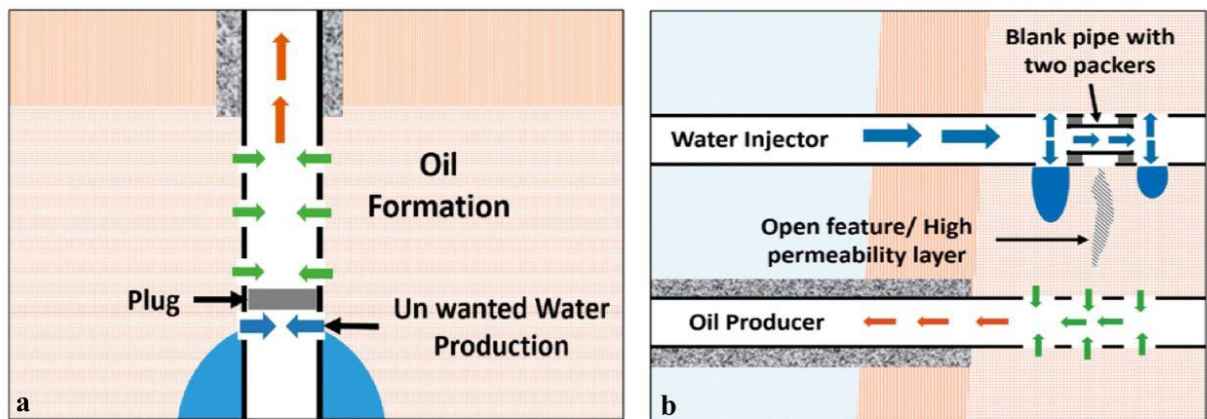


Figure 1.6. Isolation of well from unwanted water breakthrough

The isolation of water-bearing formations can be achieved using a whipstock or a smaller-diameter casing string (Figure 7a) or a retrievable packer (Figure 7b).

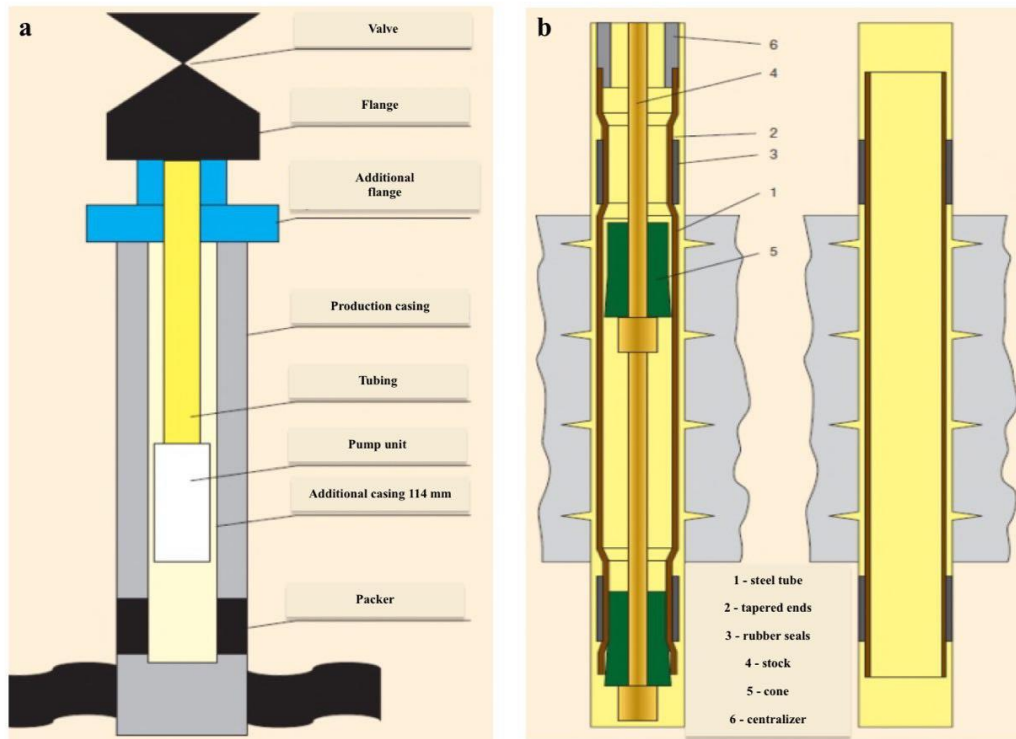


Figure 1.7. Installation of smaller-diameter casing string (a) and a retrievable packer (b)

A whipstock is an additional concealed column made of steel pipes that is installed opposite the interval of poor cementing. The operation of installing a whipstock or a smaller-diameter casing string involves running an un-cemented column, suspending it on a special surface flange, and hydraulically setting the lower packer. The installation of a smaller-diameter casing string offers several advantages, including reduced installation costs as there is no need for cementing the casing, mobility, and relatively low equipment costs.

A retrievable packer is a steel tube with tapered ends and rubber seals welded to them, designed to isolate specific formations, and restore the integrity of the casing. If necessary, the packer can be pulled and extracted from the well using a special tool. The advantages of this method include reduced time and cost of equipment installation, high reliability, and mobility of the structure.

## A2.2 Physico-Chemical Remedial Methods



All physico-chemical methods for limiting water influx can be broadly classified into two types based on their mechanism of action: selective and non-selective methods.

Non-selective isolation methods refer to techniques where the main goal is to create an impermeable and durable barrier over time. The primary agents used are cement slurries and synthetic resins. One advantage of using cement slurries is their affordability and availability, although the resulting cement stone exhibits low adhesive properties, leading to its rapid deterioration. On the other hand, resins possess higher strength characteristics, but their use may significantly reduce the filtration properties of the oil-bearing interval.

Selective methods refer to techniques where the precipitate, gel, or setting agent formed increases the filtration resistance only in the water-saturated portion of the formation, while leaving the oil-saturated part unaffected. Considering the principles of their action on the formation, five groups of selective chemical agents and the methods based on them can be distinguished: gel-forming, setting, precipitating, hydrophobizing, and foam systems.

1) Gel-forming agents are a group of chemical reagents that promote the formation of spatial gel-like systems consisting of a dispersed phase of inorganic or organic nature with a high degree of dispersity and a water or organic dispersion medium. Such agents include polymers and copolymers of acrylic acid, polyacrylonitriles, simple and complex cellulose esters, polyolefins, insoluble resins and latexes, etc.

2) Setting agents are a group of reagents that form a water-insoluble mass soluble in oil under reservoir conditions. This group includes polyurethanes, synthetic resins, organosilicon compounds, etc.

3) Precipitating agents are chemical reagents capable of forming insoluble precipitates when in contact with each other, formation water, or dissolved salts in it. Hydroxides of polyvalent and alkaline earth metals, solutions of complex esters,

high-molecular-weight acid soaps, as well as certain inorganic salts (e.g., iron (II) sulfate, alkali metal silicates) are used for these purposes.

4) Hydrophobizing agents are surfactants that act on the rocks in the near-wellbore zone of the reservoir and promote a change in the phase permeability of water to reduce its filtration rate.

5) Foam systems are systems in which, as a result of the interaction of chemical agents, gas bubbles are formed, which help block the pathways of water movement. The greatest effect of foam systems is achieved in gas wells.

In addition to the listed chemical agents, various auxiliary agents are also used, such as fillers, stabilizers, modifiers, and catalysts.

Isolating agents are capable of forming different types of water-resistant masses depending on specific conditions, sources of water influx, geological characteristics of reservoirs, and technical characteristics of wells [5-7].