

На правах рукописи



ПАКЛИНОВ НИКИТА МИХАЙЛОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ
ЗОНЫ ПЛАСТА ЭЛЕКТРО-ГИДРОУДАРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ
НА ПРИМЕРЕ ВАСЮГАНСКОЙ СВИТЫ**

Специальность 2.8.4. Разработка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет» на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Научный руководитель

Мулявин Семен Федорович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Официальные оппоненты:

Гиляев Гани Гайсинович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», директор института нефти, газа и энергетики, и.о. заведующего кафедрой нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна

Поплыгин Владимир Валерьевич,
кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доцент кафедры «Нефтегазовые технологии»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург.

Защита состоится «21» апреля 2023 года в 16 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.2.419.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70, ауд. 312.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-издательском комплексе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и на сайте www.tyuiu.ru.

Автореферат диссертации разослан «15» марта 2023г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пономарева Татьяна Георгиевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Основная часть месторождений Западной Сибири находится на поздней стадии разработки и характеризуется снижением продуктивности из-за кольтматации пласта при остановке скважин. При этом определяющее влияние на темп отбора нефти оказывает состояние призабойной зоны пласта (ПЗП).

В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы РФ до 2035 года (утверждена приказом Правительства РФ от 22 декабря 2018 года № 2914-р) необходимым является обеспечение рационального использования минерально-сырьевой базы за счет вовлечения в разработку трудноизвлекаемых запасов.

Несмотря на множество технологий воздействия на призабойную зону пласта их применение часто оказывается малоэффективным. Успешность работ составляет не более 60%. Со временем эффективность технологий снижается в результате деструкции кристаллической решетки минералов, а также формирования пространственно-временных структур (микроструктур асфальтенов, парафинов, частиц окислов металлов) в призабойной зоне.

Кроме этого в последние годы в разработку вводятся мелкие месторождения Западной Сибири с запасами нефти в низкопродуктивных коллекторах (например, васюганская свита), а более 300 месторождений находится в разведке или ожидают ввода в разработку.

Васюганская свита обладает сложным геологическим строением, структурно меняющееся при механической деформации. Зерна кварца и реже полевых шпатов, сдавленные соседними обломками, распадаются на отдельные неделимые части, сохраняющие в своем расположении ориентировку и общие контуры изначального зерна. Поровое выщелачивание является типичным процессом наложенного эпигенеза и заключается в растворении и выносе вещества неустойчивых минералов. Поры в васюганской свите имеют щелевидные, угловатые и извилистые неровные формы, соединенные между собой. Вторичные поры, образованные при выщелачивании, отличаются от первичных усложнением внешних контуров зерен и сложным пространственным распределением реликтов цемента.

Среди перспективных технологий воздействия на описанный выше продуктивный пласт, следует отметить импульсное воздействие, исследованию которого посвящены многие труды выдающихся ученых СССР и современной России. В работе приводятся результаты промысловых и лабораторных испытаний различных гидроимпульсных технологий. Известно большое количество запатентованных изобретений и полезных моделей технических устройств для осуществления воздействия импульсами давления.

С практической точки зрения волновые технологии считаются незагрязняющими методами воздействия на продуктивные пласты, а промысловые испытания и лабораторные исследования указывают на их технологическую эффективность. В связи с этим, актуальными являются исследования, направленные на изучение влияния гидроимпульсного воздействия на фильтрационно-емкостные характеристики призабойной зоны пласта для разработки и обоснования новых энергоэффективных технологий интенсификации добычи нефти.

Данная работа ставит задачу изучения реновации гидроимпульсных методов воздействия с целью развития технологических возможностей для совершенствования технологии.

Степень разработанности темы исследования

Значительный вклад в совершенствование технологий воздействия импульсами давления с целью повышение эффективности эксплуатации нефтяных месторождений внесли следующие отечественные и зарубежные ученые: А. А. Аббасов, М. Г. Алишаев, В. А. Амиян, Ю. В. Антипин, Т. К. Апасов, А. А. Ахметов, Э. А. Ахметшин, Ю. М. Басарыгин, М. Д. Валеев, А. А. Газизов, И. Н. Гайворонский, А. Т. Горбунов, В. П. Дыбленко, Ю. В. Зейгман, М. М. Кабиров, О. Л. Кузнецов, А. С. Купавых, Б. И. Леви, В. Д. Лысенко, А. М. Максютин, А. А. Меркулов, А. А. Молчанов, А. Х. Мирзаджанзаде, Р. Х. Муслимов, Г. Т. Овнатанов, В. Н. Опарин, Г. Н. Позднышев, М. К. Рогачев, М. А. Садовский, М. Л. Сургучев, М. А. Токарев, Р. Н. Фахретдинов, Н. И. Хисамутдинов, Р. Р. Хусаинов, Р. Г. Шагиев, Н. Е. Щербич, A. Abrams, W. Chen, O. Maurel и многие другие. Вопросами палеогеографии и условиями осадконакопления васюганской свиты занимались многие исследователи: В. Б. Белозеров, Л. А. Краснощекова, М. С. Зонн, Е. Е. Брылина, Р. В. Белов и др.

Проведенные исследования и практика дают основание судить о том, что воздействия импульсами давления способствуют повышению коэффициента вытеснения нефти, в то же время отсутствуют экспериментальные работы, позволяющие оценить влияние импульсов давления на фильтрационно-емкостные свойства поровой среды.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является повышение фильтрационно-емкостных характеристик призабойной зоны пласта электро-гидроударным воздействием, возбуждаемым электрическими импульсами для интенсификации притока нефтяных скважин.

Основные задачи исследования

1. Исследовать технологии гидроимпульсного воздействия, используемые для интенсификации добычи нефти.
2. Создать экспериментальную лабораторную установку и разработать методику проведения опытов по электро-гидроударному воздействию на образцы горных пород.
3. Изучить влияние параметров электро-гидроударного воздействия на фильтрационно-емкостные свойства образцов горных пород.
4. Обосновать и усовершенствовать технологию воздействия на пласт электро-гидроударами при эксплуатации скважины и оценить технологический эффект от ее внедрения путем гидродинамического моделирования.
5. Разработать методику определения оптимальных показателей генерации упругих импульсов в стволе скважин для воздействия на призабойную зону продуктивного пласта и программу для ЭВМ.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является призабойная зона продуктивного пласта, предметом исследования – процесс воздействия электро-гидроударов на фильтрационные свойства пласта прискважинной зоны.

Научная новизна выполненной работы

1. По результатам лабораторного моделирования выявлено изменение

фильтрационно-емкостных свойств пласта в зависимости от количества разрядов и подаваемого напряжения электро-гидроударов.

2. Экспериментально установлено, что воздействие электро-гидроударами на насыщенные образцы горных пород позволяет получить относительный прирост показателей эффективной пористости до 12 %, проницаемости до 46.67 %.

3. Разработана методика определения оптимальных показателей генерации упругих импульсов в стволе скважин для воздействия на призабойную зону продуктивного пласта, учитывающая параметры породы и обеспечивающая повышение продуктивности скважин.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Проведена серия экспериментов на разработанной лабораторной установке для исследования электро-гидроударного воздействия на фильтрационно-емкостные свойства насыщенных образцов горных пород.

2. Выявлено влияние частоты и мощности электро-гидроударов на эффективность воздействия на призабойную зону продуктивного пласта с целью интенсификации притока.

3. Усовершенствована технология гидроимпульсного воздействия на призабойную зону продуктивного пласта с применением устройства, создающего импульсы давления и разрушающего пространственно-временные структуры поровой среды, что способствует интенсификации притока нефти в скважину.

4. Разработана методика определения оптимальных показателей генерации упругих импульсов в стволе скважин для воздействия на околоскважинную зону продуктивного пласта, учитывающая предел прочности породы и направленная на подбор оптимальных показателей генерации упругих импульсов в стволе скважины (Свидетельство ЭВМ № 2021618049).

5. Исследования, выполненные в диссертации, поддержаны грантом ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» («Фонд содействия инновациям») № 1682ГУ1/2014 от 13.03.2014 и № 6044ГУ2/2015 от 15.06.2015.

Методология и методы исследования

Для достижения цели диссертационного исследования в работе использована совокупность методов научного познания: систематизация теоретической базы, лабораторных и промысловых исследований; экспериментальные лабораторные методы исследования; гидродинамическое моделирование изучаемых процессов и методы вычислительной математики и статистики.

Степень достоверности

Достоверность результатов определяется современным уровнем теоретических и экспериментальных лабораторных исследований с использованием образцов керна, подготовленных в соответствии с нормативными документами по стандартизации и ГОСТами. Результаты лабораторных исследований согласуются с имеющейся теоретической базой, а также с опубликованными экспериментальными данными других авторов. Перспективность применения метода подтверждена результатами гидродинамического моделирования с использованием сертифицированного программного обеспечения.

Положения, выносимые на защиту

1. Зависимость повышения коэффициентов эффективной пористости и проницаемости образцов горных пород при электро-гидроударном воздействии.
2. Электро-гидроударное воздействие увеличивает относительный прирост показателей эффективной пористости до 12 % и проницаемости до 46.67 % (по группам исследованных образцов горной породы).
3. Методика определения частоты и мощности внутрискважинного электро-гидроударного излучателя, которая обеспечивает максимальную очистку призабойной зоны продуктивного пласта.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: международном симпозиуме студентов и молодых ученых им. академика М. А. Усова, посвященном 150-летию со дня рождения академика В. А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы (г. Томск 2013г.); международной академической конференции «Состояние, тенденции и

проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири» (г.Тюмень, 2017г.); IV форум молодых ученых U-Novus (г.Томск, 2017г.); международной научно-практической конференции «Природные процессы в нефтегазовой отрасли. Geonature 2017» (г.Тюмень, 2017г.); международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии - нефтегазовому региону», (г.Тюмень, 2018г.); национальной научно-технической конференции «Решение прикладных задач нефтегазодобычи на основе классических работ А. П. Телкова и А. Н. Лапердина», (г.Тюмень, 2019г.); международной конференции «Повышение качества управления информацией при разработке нефтегазовых месторождений» (г.Тюмень, 2021г.), международная научно-практическая конференция «Научная территория: технологии и инновации» (г.Тюмень, 2022г.); международная научно-практическая конференция имени Д. И. Менделеева (г.Тюмень, 2022 г.).

Публикации

По теме работы опубликовано 8 научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ; 3 статьи в изданиях, включенных в международную реферативную базу данных Скопус (Scopus). Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, а именно, пункту 2: Геолого-физические, геомеханические, физико-химические, тепломассообменные и биохимические процессы, протекающие в естественных и искусственных пластовых резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из недр и подземном хранении жидких и газообразных углеводородов и водорода известными и создаваемыми вновь технологиями и техническими средствами для развития научных основ создания эффективных систем разработки, обустройства и эксплуатации месторождений и подземных хранилищ жидких и газообразных углеводородов и водорода, захоронения кислых газов, включая диоксид углерода; пункту 3: Научные основы технологии воздействия на межскважинное и околоскважинное пространство и управление притоком пластовых флюидов к скважинам различных

конструкций с целью повышения степени извлечения из недр и интенсификации добычи жидких и газообразных углеводородов.

Объем и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений списка литературы, приложения. Материалы изложены на 119 страницах текста, содержат 70 рисунков, 22 таблицы. Список литературы включает 94 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

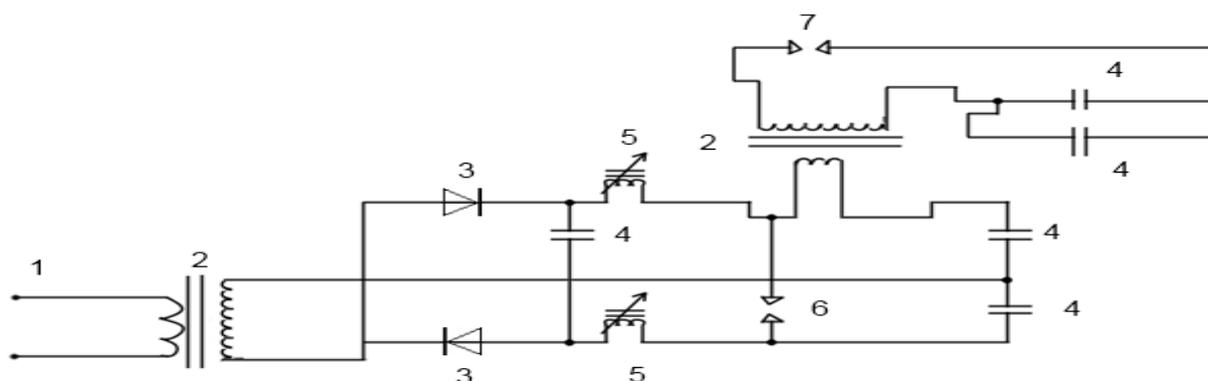
Во **введении** приведена общая характеристика диссертации, обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

Первая глава посвящена обзору применения методов повышения нефтеотдачи продуктивных пластов и интенсификации притока с целью увеличения нефтеотдачи, в частности, рассмотрены способы электрического воздействия на указанный процесс. Выявлены положительные и отрицательные стороны применения методов увеличения нефтеотдачи и интенсификации притока.

Рассмотрен опыт применения технологий в области физического воздействия на нефтенасыщенные коллекторы. Описаны технологии виброволнового воздействия и воздействия электромагнитным полем. Электро-гидроударное воздействие (ЭГВ) – метод механического воздействия на продуктивные пласты, основанный на ряде специфических явлений, происходящих в массиве пород пласта и в насыщающей его жидкости. Чаще всего это нелинейные эффекты, в частности, искажение фронта волны, дисперсия и нелинейное поглощение энергии волн. За счет энергии упругих волн происходит разрушение пространственно-временных структур, снижаются капиллярные эффекты, и происходит эффективная очистка околоскважинной зоны.

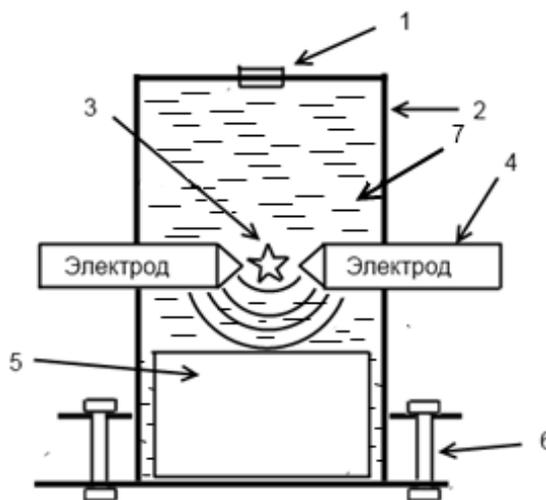
Во второй главе приводится обоснование методики экспериментальных исследований, характеристика аппаратуры и разработанной электрической схемы лабораторной установки (Рисунок 1), генерирующей электрические разряды высокого напряжения. Описана методика проведения опытов по электро-гидроударному воздействию на образцы горных пород.

Для функционирования разработанной лабораторной установки используются высоковольтные конденсаторы (4), позволяющие накапливать большое количество энергии. Лабораторная установка работает в импульсном режиме, включающем два этапа. На первом этапе происходит заряд конденсаторов до заданного напряжения. Заряд осуществляется от внешнего источника питания повышенного напряжения (1), достигающегося с помощью повышающего трансформатора (2), диодов (3), дросселей (5) и искрового промежутка (6). На втором этапе идет отключение источника питания и направление накопленной в конденсаторах энергии на рабочий промежуток (7) в разрядную камеру (Рисунок 2).



1 – источник питания; 2 – повышающий трансформатор; 3 – диод; 4 – высоковольтный конденсатор; 5 – дроссель; 6 – искровой промежуток; 7 – рабочий промежуток.

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки



1 – обратный клапан; 2 – металлический корпус; 3 – инициации воздействия; 4 – электроды; 5 – образец горной породы; 6 – болты, соединяющие крепления для фиксации образца; 7 – вода.

Рисунок 2 – Схема размещения образца горной породы в гидродинамическую часть установки (разрядная камера)

Стандартные керновые исследования проводились в аккредитованной лаборатории. При проведении лабораторных фильтрационных экспериментов по определению коэффициентов пористости и проницаемости использовалась коллекция образцов естественного кернового материала. Подготовка образцов керна, а также проведение исследований были выполнены в соответствии со следующими нормативными документами: ГОСТ 26450.0-85 «Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств», ГОСТ 26450.1-85 «Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением» и ГОСТ 26450.2-85 «Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации».

Для изучения влияния технологии электро-гидроударного воздействия на фильтрационно-емкостные свойства призабойной зоны пласта разработана методика проведения исследований, позволяющая смоделировать воздействие на призабойную зону пласта скважин в лабораторных условиях.

В третьей главе приводится описание проведения исследований электро-гидроударного воздействия на образцы горной породы с целью увеличения фильтрационно-емкостных характеристик.

Описаны эксперименты по исследованию влияния электро-гидроударного воздействия на образцы горной породы, взятых из пласта ЮС₁ васюганской свиты.

В ходе исследования использовалась теория планирования экспериментов и обработки экспериментальных данных. Эксперименты были разделены на три группы:

- группа А: эксперименты, направленные на нахождение оптимальных параметров воздействия;
- группа В: эксперименты, направленные на проведение полного факторного эксперимента;
- группа С: эксперименты, направленные на подтверждение результатов полученных в экспериментах группы В и осуществляемые посредством воспроизведения.

Группа А

Для определения оптимального рабочего диапазона экспериментальной

установки были проведены лабораторные исследования с использованием теории математического планирования эксперимента. Для исследования выделены следующие факторы: X_1 - количество разрядов (шт.); X_2 – напряжение, подаваемое на рабочие контакты (кВ). Значения уровней и интервалов варьирования факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов, группа А

Обозначение	Наименование и обозначение факторов	Уровни варьирования	
		-1	+1
X_1	Количество разрядов, шт.	10	20
X_2	Напряжение, кВ	0.5	0.75

В результате проведения экспериментов группы А был получен положительный эффект и прирост показателей в среднем по эффективной пористости 2.5 %, по проницаемости 13.7 %.

Результаты проведенных экспериментов были отражены в виде уравнения математической модели (1), на основе которой построен график отклика (Рисунок 3):

$$K_{эф.п} = 13,70 + 0,87x_1 + 1,21x_2 - 0,73x_1x_2 \quad (1)$$

где, $K_{эф.п}$ – коэффициент эффективной пористости, x_1 – количество разрядов, шт., x_2 - напряжение, кВ.

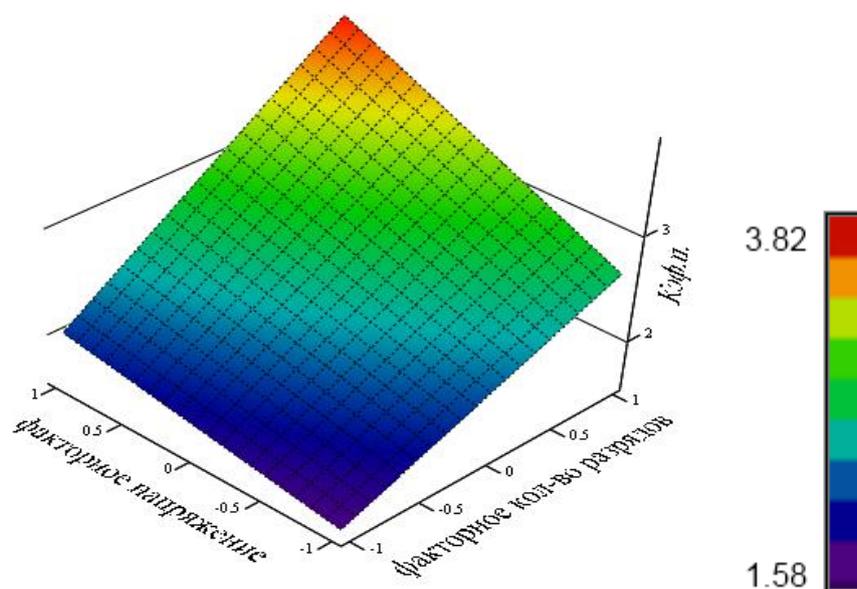


Рисунок 3 – График отклика математической модели

Группа В

Проведение полного факторного эксперимента выполнялось по типу $N = k^n$, где k – число факторов, n – число уровней. Число опытов $N = 9$ (Таблицы 2 и Таблица 3).

Таблица 2 - Уровни варьирования факторов, группа В

Обозначение факторов	Наименование и обозначение факторов	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
		-1	0	1	
X_1	Количество разрядов, шт.	10	20	30	10
X_2	Напряжение, кВ	0.5	1	1.5	0.5

Таблица 3 – Матрица планирования экспериментов, группа В

№ опыта	Матрица планирования								
	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	$X_1^2X_2$	$X_1X_2^2$	$X_1^2X_2^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1
4	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1
5	+1	+1	0	0	+1	0	0	0	0
6	+1	0	+1	0	0	+1	0	0	0
7	+1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	+1	-1	0	0	+1	0	0	0	0
9	+1	0	-1	0	0	+1	0	0	0

В результате проведения экспериментов группы В был получен положительный эффект и прирост показателей в среднем по эффективной пористости 8.09 %, по проницаемости 29.57 %.

Результаты эксперимента группы В представлены на рисунках 4 и 5.

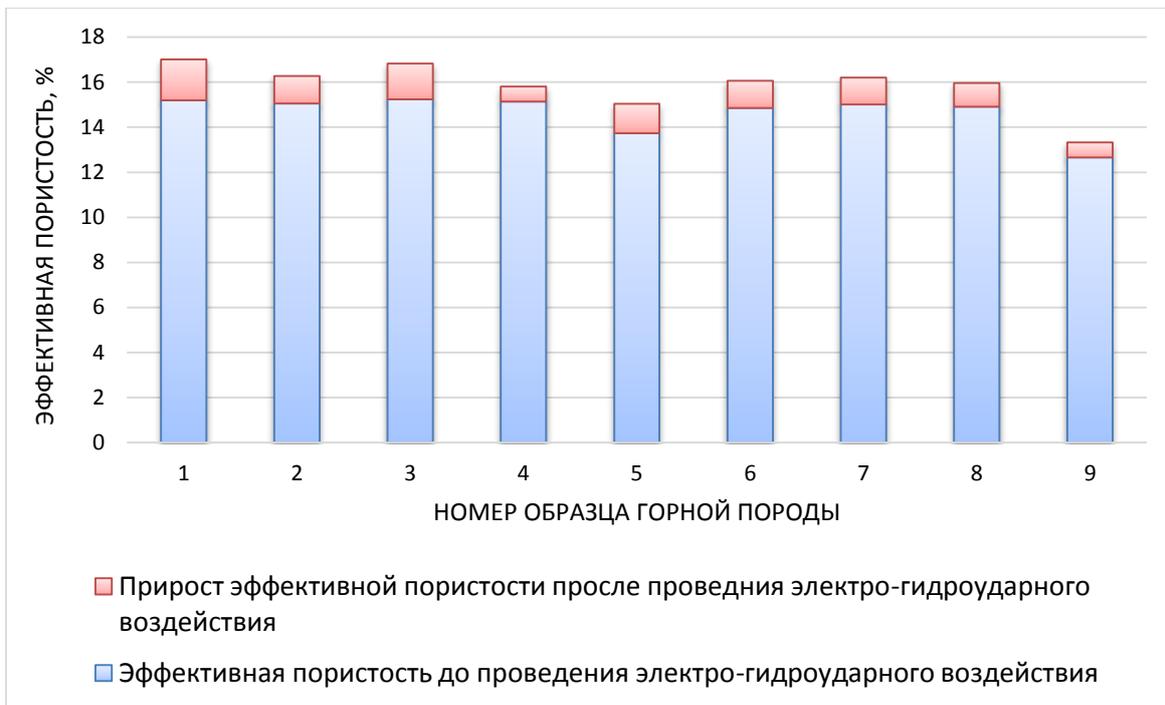


Рисунок 4 - Результаты экспериментов группы В,
изменение эффективной пористости образцов горной породы

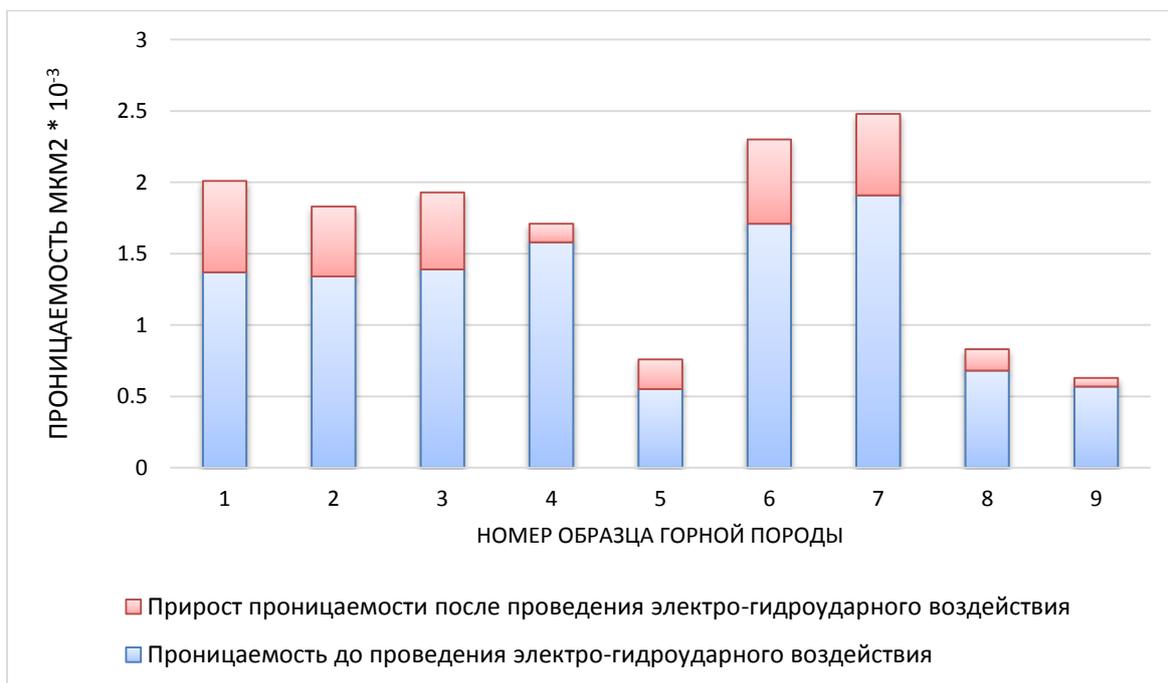


Рисунок 5 - Результаты экспериментов группы В,
изменение проницаемости образцов горной породы

Результаты экспериментов группы В были отражены в виде математической модели:

$$K_{\text{эф.п.}} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2 + a_6x_1^2x_2 + a_7x_1x_2^2 + a_8x_1^2x_2^2 \quad (2)$$

По данному уравнению, в соответствии с матрицей планирования экспериментов, была составлена система линейных алгебраических уравнений. Определив параметры a_i , функция математической модели (2) представляется в явном виде:

$$K_{\text{эф.п.}} = 7,95 + 1,23x_1 + 1,57x_2 - 0,56x_1x_2 + 0,33x_1^2 - 1,40x_2^2 + 0,95x_1^2x_2 + 0,11x_1x_2^2 + 1,85x_1^2x_2^2 \quad (3)$$

Полученная функция зависит от параметров воздействия электро-гидроударов и представлена в виде графика функции отклика на рисунке 6 и может быть использована для прогнозных расчетов.

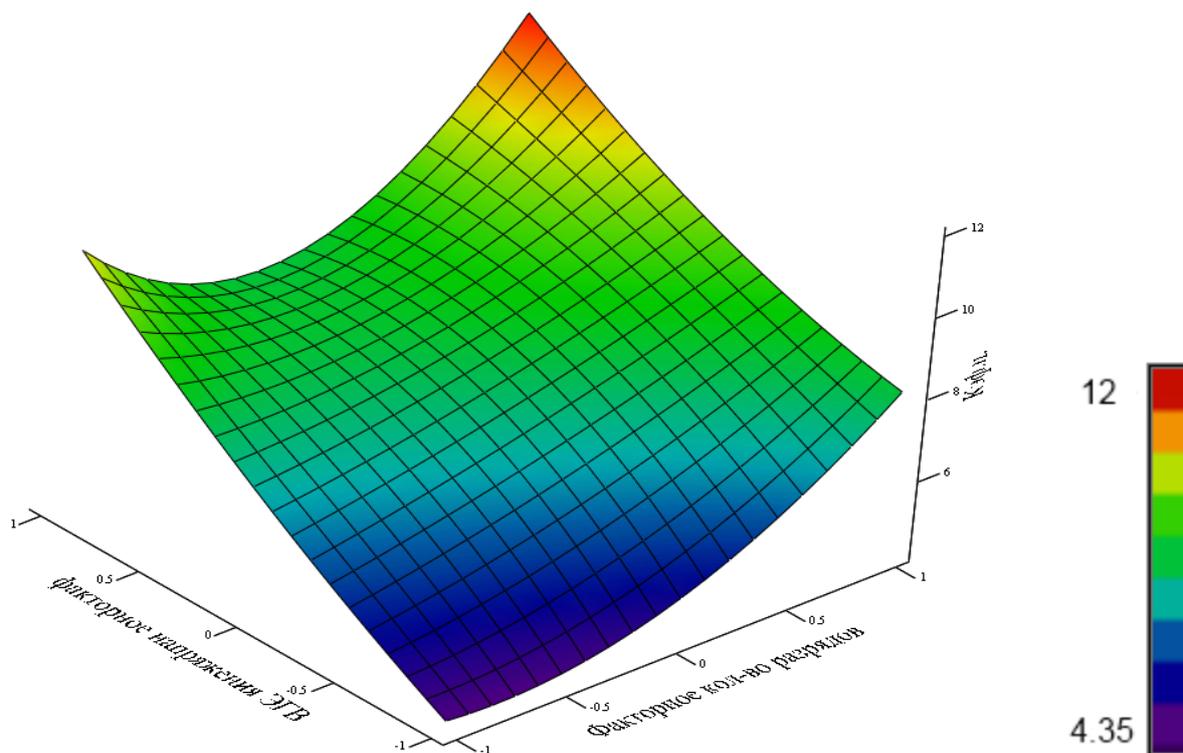


Рисунок 6 – График функции отклика

Группа С

Эксперименты группы С были направлены на подтверждение результатов, полученных в экспериментах группы В с целью получения аналогичных выводов.

Данная группа была разделена на три блока – С₁, С₂ и С₃. В экспериментах блока С₁ использовались максимальные показатели факторов варьирования. В экспериментах

блока C_2 использовались средние показатели. В экспериментах группы C_3 были применены минимальные показатели факторов варьирования (Таблица 4 и Рисунок 7).

Таблица 4 – Группа экспериментов блока С с использованием максимальных, средних и минимальных показателей границы рабочей области

№ гр.	Нумерация образцов горной породы	x_1 - кол-во разрядов, шт.	x_2 – напряжение ЭГВ, кВ.	Средний показатель до проведения ЭГВ, %.	Средний показатель после проведения ЭГВ, %.	Прирост относительный, коэфф. пористости, %
C_1	10-14	30	1,5	14.71	16.46	11.85
C_2	15-19	20	1	13.6	14.74	8.34
C_3	20-24	10	0,5	16.08	16.86	4.85



Рисунок 7 - Результаты экспериментов группы С, изменение эффективной пористости образцов горной породы

В ходе проведения экспериментов группы С, направленных на воспроизводимость экспериментов группы В, средний прирост (относительный) эффективной пористости составил: блок C_1 – 11.85 %, блок C_2 – 8.34 % и блок C_3 -4.85 %. При сравнении результатов групп В и С (Рисунок 8) подтверждаются возможности функции (3) производить прогнозные расчеты эффективности от воздействия.

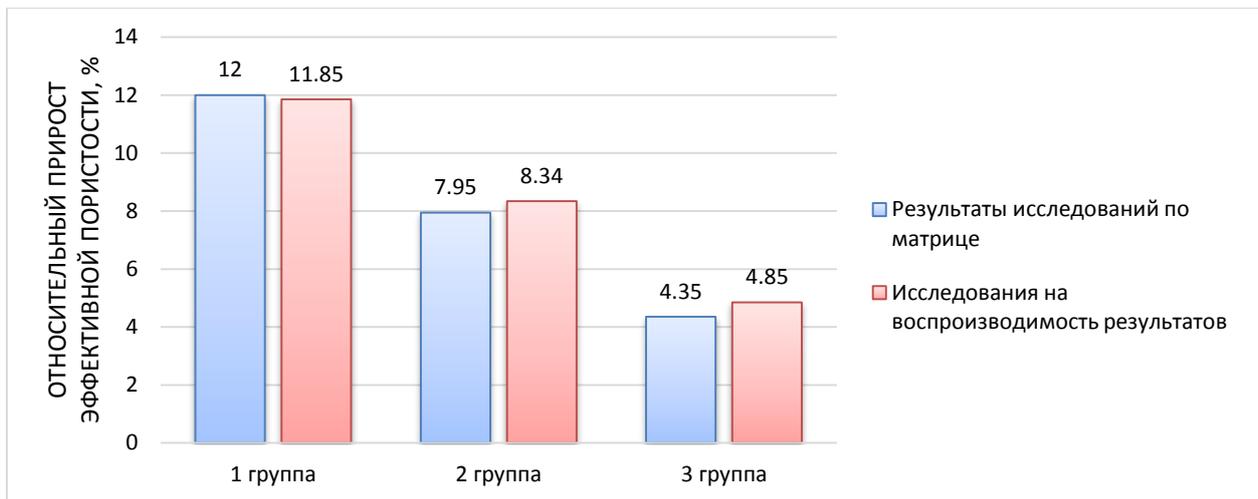


Рисунок 8 – Сравнение результатов экспериментов групп В и С

Дополнительно определялись размеры эффективных поровых каналов и наличие трещиноватости/микротрещиноватости в структуре образца. Результаты сопоставления размеров поровых каналов образцов горной породы до и после проведения экспериментов представлены на рисунке 9.

В образце № 2 наблюдается увеличение максимальных эквивалент-диаметров пор от 0.069 до 0.085 мкм².

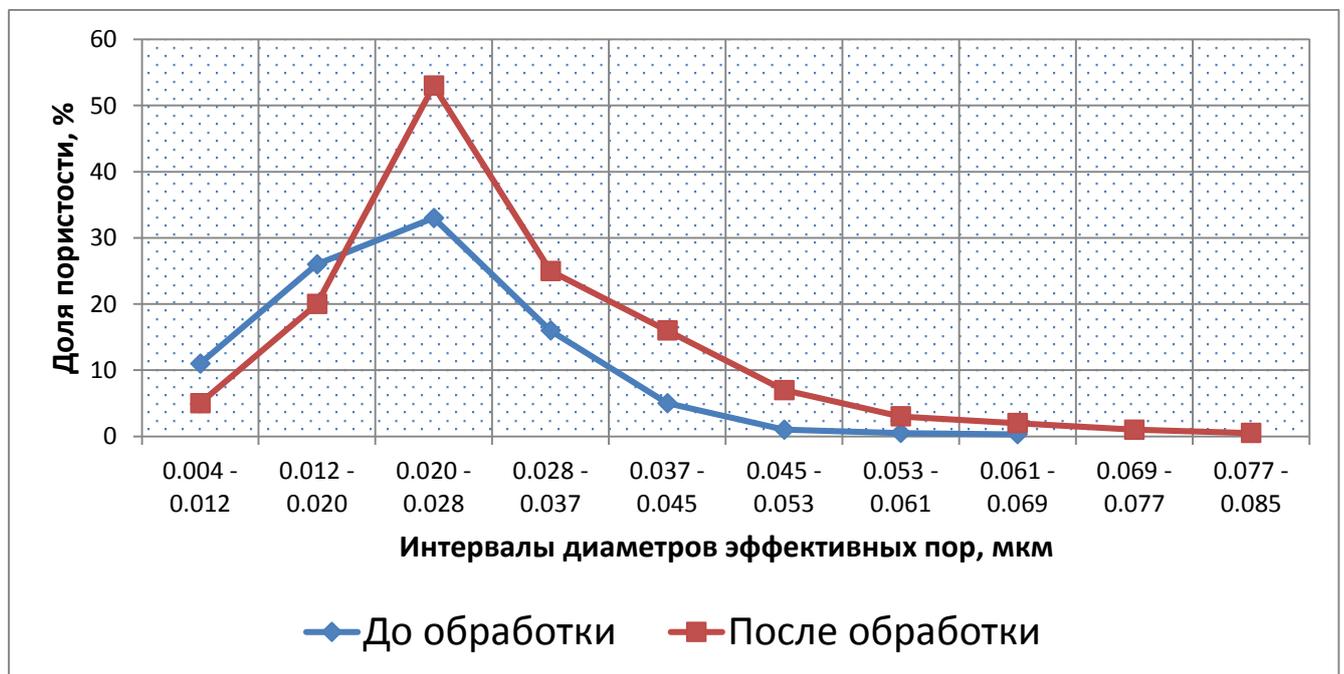
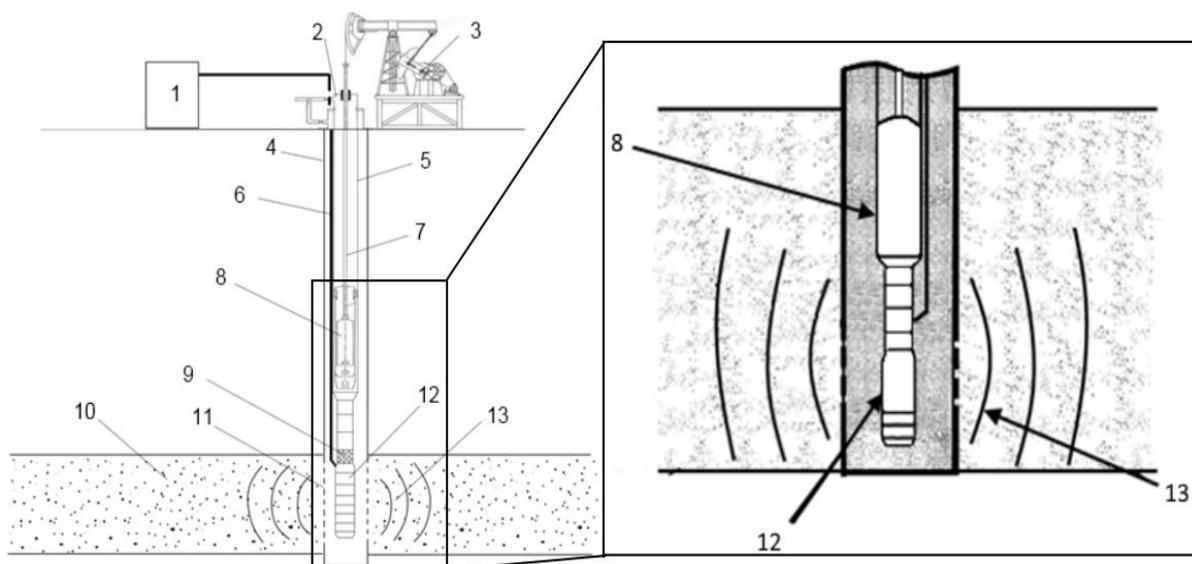


Рисунок 9 – Распределение эквивалент-диаметров пор образца горной породы (по оси X – интервалы эквивалент-диаметра в мкм, по оси Y – процентное содержание от пористости)

В четвертой главе предложена технология воздействия на околоскважинную зону при помощи электро-гидроударов при одновременной работе насосного оборудования.

Технология реализуется в следующей последовательности:

1. В скважину спускается компоновка, включающая насосно-компрессорные трубы с установленным фильтром-хвостовиком, к которому подвешен электро-гидроударный излучатель. Электричество на излучатель подается по греющему кабелю от наземного блока управления.
2. Производится настройка количественных характеристик и запуск электро-гидроударного излучателя.
3. Далее в работу запускают насосное оборудование.
4. После воздействия электро-гидроударный излучатель отключается и скважина работает в штатном режиме.
5. В течении нескольких месяцев процедура работы электро-гидроударного излучателя повторяется для поддержания максимального эффекта от воздействия.



- 1 – блок управления; 2 - обвязка устья скважины; 3 – станок-качалка;
 4 – эксплуатационная колонна; 5– НКТ; 6– греющий электрический кабель; 7 – штанги;
 8– насос; 9– фильтр-хвостовик; 10– продуктивный пласт;
 11 – зона перфорации; 12 – внутрискважинный электро-гидроударный излучатель;
 13 – распространение волн.

Рисунок 10 - Схема компоновки насосного оборудования добывающей скважины с возможностью электро-гидроударного воздействия на ПЗП

Моделирование процесса разработки месторождения с применением электрогидроударного воздействия проводилось при помощи программного комплекса «Tempest MORE». Были выполнены два варианта расчета гидродинамической модели, различающиеся воздействием в добывающей скважине № 51157.

Объектом гидродинамического моделирования является участок пласта ЮС месторождения ХМАО в районе скважины № 51157 (Рисунок 11).

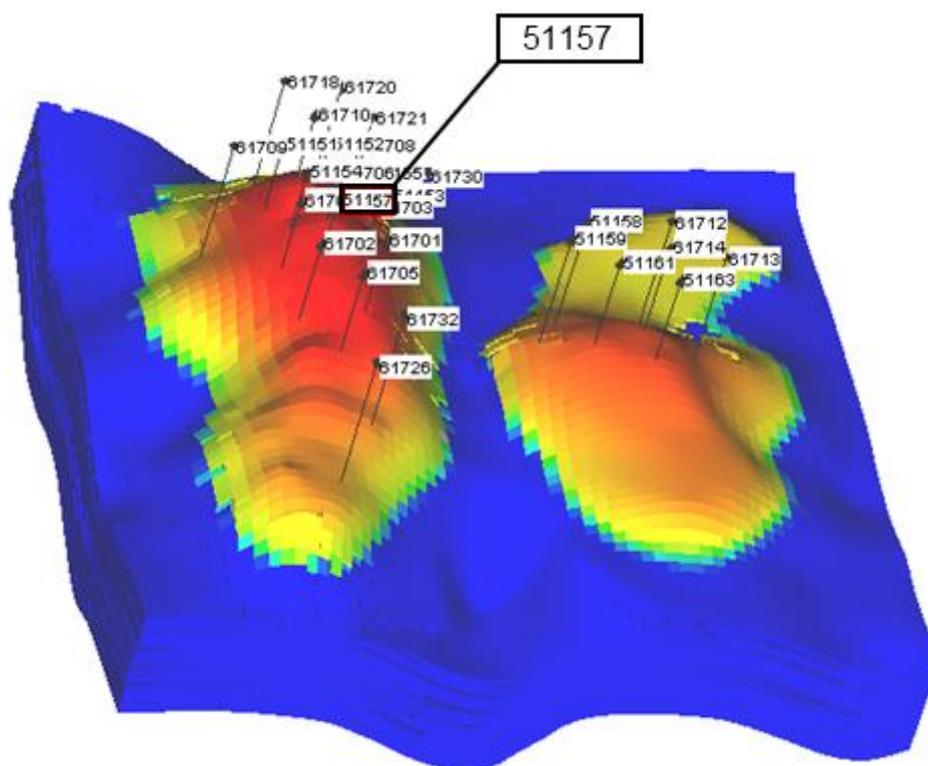


Рисунок 11 – Области фильтрационного моделирования

В соответствии с проведенными исследованиями на керне, установлено значение максимального изменения показателей ФЕС в результате проведения электрогидроударного воздействия (глава 3). Данные фактических значений применялись в гидродинамической модели для модификации фильтрационно-емкостных свойств в призабойной зоне пласта. Для этого использовались опции динамического изменения проницаемости и порового объема. Результаты расчетов приведены на рисунках 12 и 13.

В результате гидродинамического моделирования эффектов электрогидроударного воздействия дебит скважины по жидкости увеличился с 11.9 до 13.0 т/сут, дебит по нефти – с 2.4 до 3.0 т/сут. Технологическая эффективность за 2 года работы скважины составит 725 т дополнительно добытой нефти.

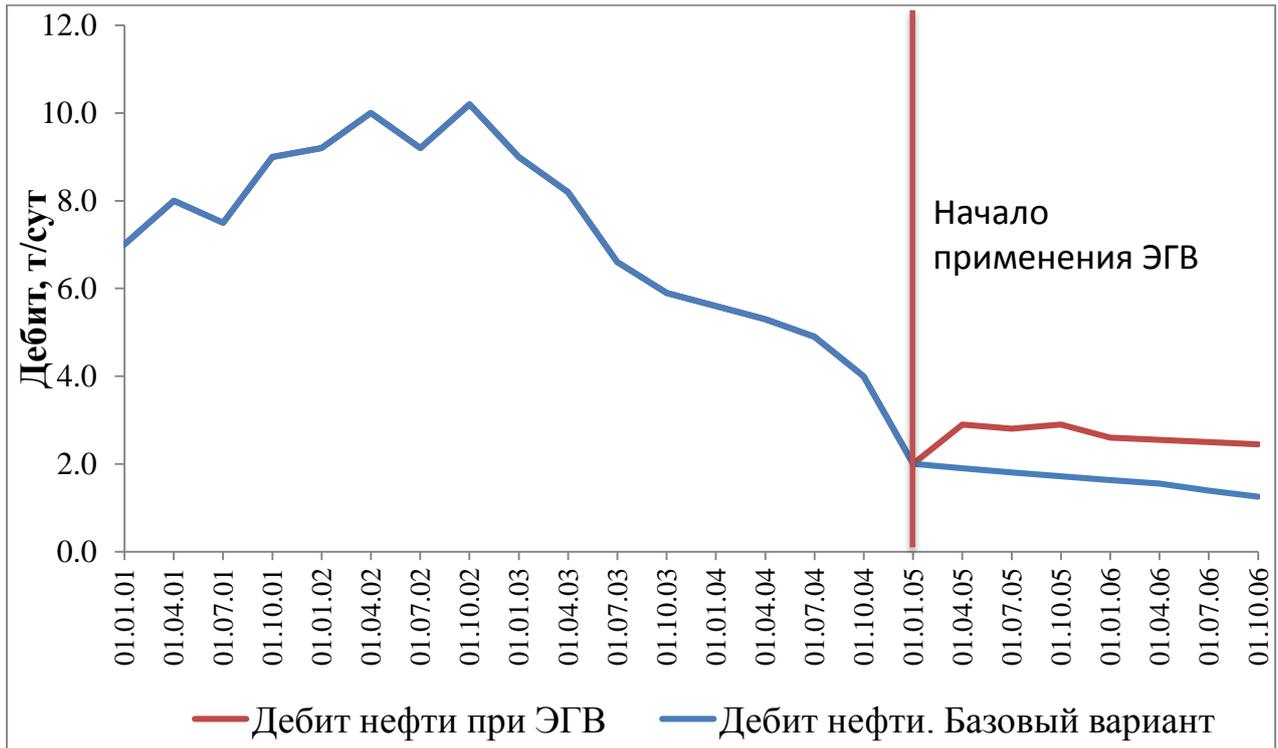


Рисунок 12 – Дебит нефти скважины № 51157 до и после воздействия

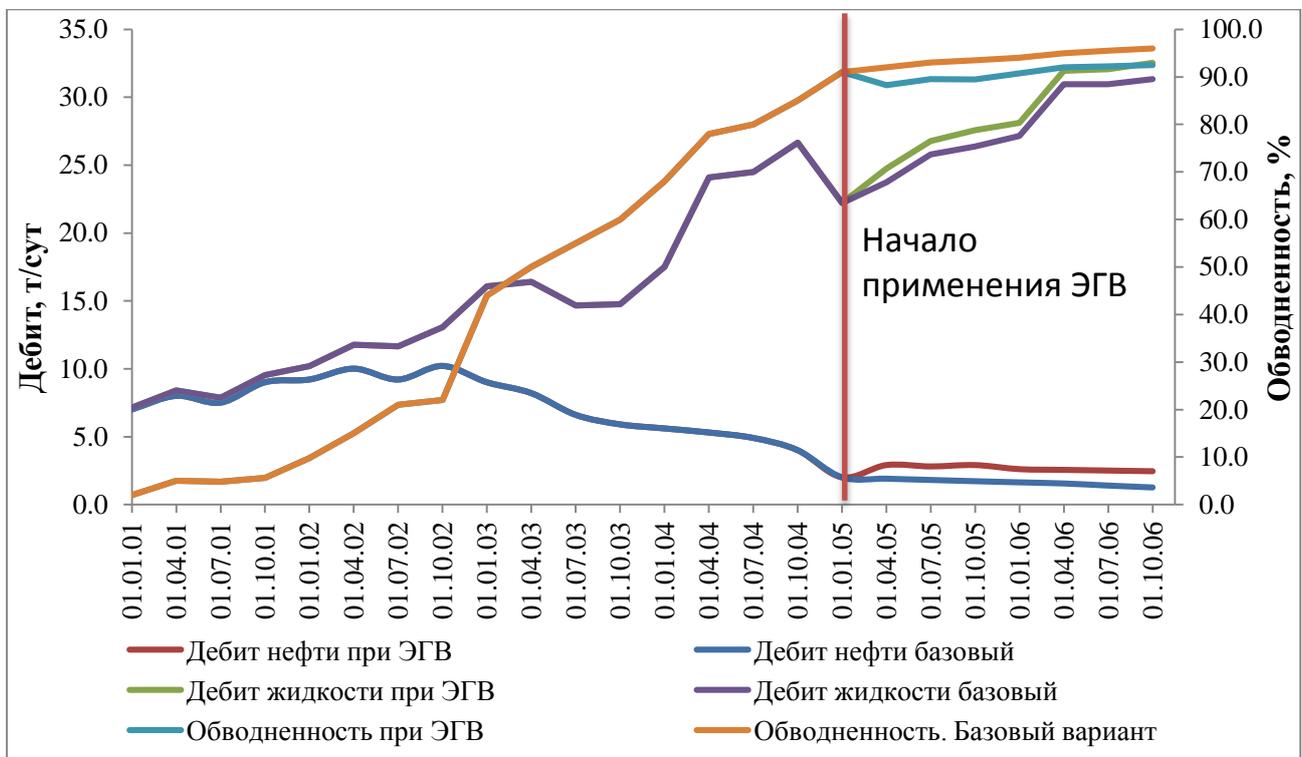


Рисунок 13 – Дебит нефти, жидкости и обводненность скважины № 51157

Результаты, полученные в ходе выполненных исследований, легли в основу

методики расчета воздействия электро-гидроударами на продуктивный пласт, выполненной в виде программы для ЭВМ «Комплексная система оценки эффективности электро-гидроударного воздействия (EGS Oil)» (свидетельство о государственной регистрации № 2021618049).

Алгоритм расчета заключается в определении минимально необходимой энергии создания электро-гидроудара, который формирует импульс давления, воздействующий на продуктивный пласт. Данный показатель не должен превышать предела прочности породы. В случае выполнения условий по формированию импульса алгоритм прогнозирует изменение показателей ФЕС согласно функции отклика (Рисунок 14).

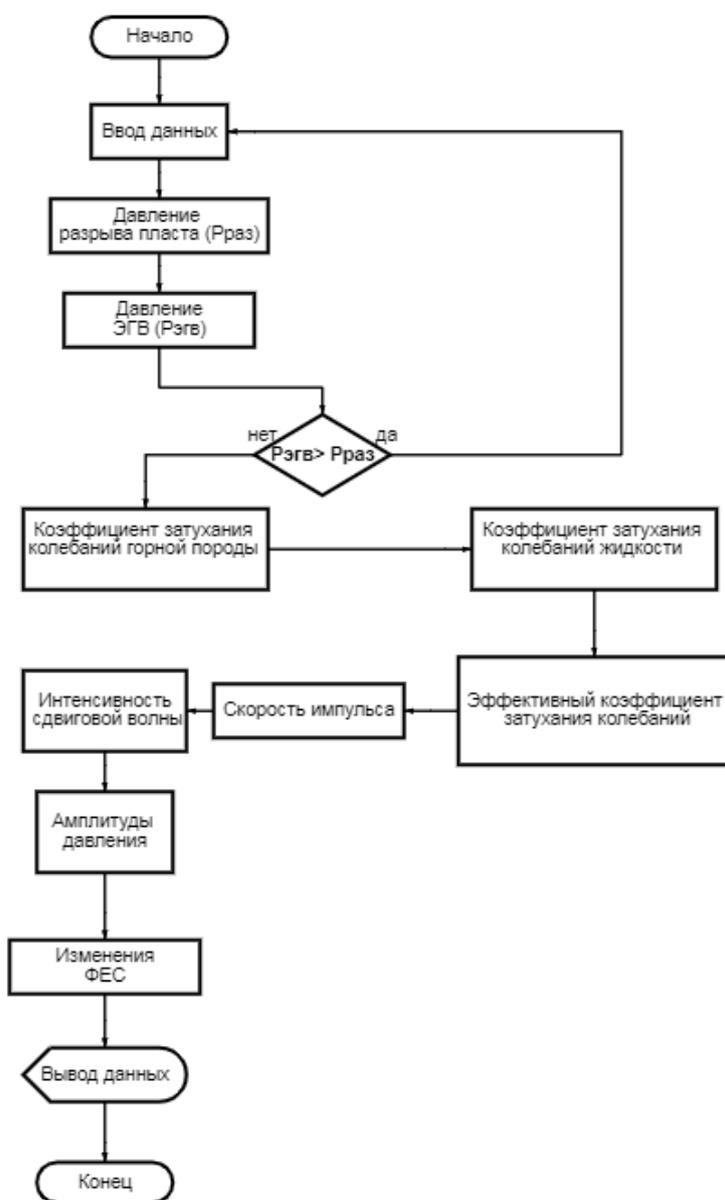


Рисунок 14 – Алгоритм расчета эффективности электро-гидроударного воздействия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование существующих технологии гидроимпульсного воздействия используемые для повышения интенсификации добычи нефти, показало, что данные технологии требуют дальнейшего изучения и расширения экспериментальной базы, в частности по влиянию электро-гидроударов на ФЕС горной породы.

2. В результате работ по исследованию влияния гидроимпульсного воздействия на пласт: собрана лабораторная установка и разработана методика проведения опытов по электро-гидроударному воздействию на образцы горных пород.

3. По результатам лабораторных экспериментов выявлено, что воздействие электро-гидроударами на насыщенные образцы горных пород васюганской свиты позволяет получить относительный прирост эффективной пористости до 12 %, относительный прирост проницаемости – до 46.67 %. Обосновано, что наибольшая эффективность наблюдается при воздействии 30 разрядов и напряжением 1.5 кВ.

4. Усовершенствована технология электро-гидроударного воздействия на пласт с целью интенсификации притока нефти, отличающаяся от известных отсутствием необходимости в дополнительном калиброванном проводнике и возможностью безостановочной эксплуатации скважины с одновременной обработкой электро-гидроударами.

5. Разработана методика и программа для ЭВМ «Комплексная система оценки эффективности электро-гидроударного воздействия (EGS Oil)» для определения оптимальных показателей генерации упругих импульсов в стволе скважин для воздействия на призабойную зону продуктивного пласта, учитывающая параметры породы (пористость, проницаемость).

По авторской методике определяются количественные характеристики внутрискважинного излучателя, создающего воздействие на призабойную зону пласта. По результатам гидродинамического моделирования технологическая эффективность такого воздействия позволит извлечь 725 т. дополнительно добытой нефти.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

В изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:

1. Паклинов, Н. М. Воздействие на нефтесодержащий пласт физическими полями с целью увеличения нефтеотдачи / Н. М. Паклинов, А. А. Барышников, А. М. Ведменский // Современные проблемы науки и образования – 2015. – № 2-2. 7 с. (авторское участие - 35%).

2. Паклинов, Н. М. Результаты лабораторных исследований процесса воздействия на нефтяной пласт физическими полями / Н. М. Паклинов, А. М. Ведменский, А. А. Барышников, А. В. Стрекалов // Естественные и технические науки – 2018. – № 5. – С. 82-83. (авторское участие - 25%).

3. Паклинов, Н. М. Результаты лабораторных исследований электропроводности на кислотные растворы, закачиваемые в пласт с целью повышения нефтеотдачи / Н. М. Паклинов, А. В. Стрекалов // Естественные и технические науки – 2019. – № 11. – С. 279-281. (авторское участие - 90%).

4. Паклинов, Н.М. Моделирование процесса электро-гидроударного воздействия / Н. М. Паклинов, А. М. Ведменский, С. Ф. Мулявин // Естественные и технические науки – 2021. – № 6. – С. 90-91. (авторское участие - 90%).

В изданиях, включенных в международную реферативную базу данных Scopus:

5. Paklinov, N. M. Creation of the installation for studying the impact of current pulse excitation on the bottomhole formation zone / N. M. Paklinov, A. N. Shepelevich, A.V. Strekalov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science - Tyumen 2018; DOI: 10.1088/1755-1315/181/1/012024 (авторское участие - 90%).

6. Paklinov, N. M. Laboratory experiments on the displacement of hydrocarbons using electromagnetic effect and a magnetic fluid / N. A. Monuhov, A. A. Baryshnikov, A. M. Vedmensky, N. M. Paklinov // 6th Scientific Conference - Tyumen 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201900599 (авторское участие - 20%).

7. Paklinov, N. M. The research of electro hydroshock and the feasibility of application in the oil wells / N. M. Paklinov, A. M. Vedmenskii, E. S. Kostina, A. A. Baryshnikov, A. V. Strekalov // 6th Scientific Conference - Tyumen 2019. DOI: 10/3997/2214-4609/201900621 (авторское участие - 90%).

Публикации в других изданиях:

8. Паклинов, Н. М. Исследование образцов горной породы после проведения электро-гидроударного воздействия / Н. М. Паклинов, С. Ф. Мулявин, А. В. Стрекалов // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. Сборник материалов V международной научно-практической конференция. Альметьевск – 2020 – С.144-147. (авторское участие - 80%).

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

9. Паклинов Н. М., Левитина Е. Е., Аристов А. И., Ведменский А. М. Комплексная система эффективности электро-гидроударного воздействия (EGS Oil) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021618049.