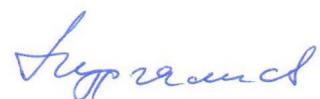


На правах рукописи



НУРГАЛИЕВ РОБЕРТ ЗАГИТОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБЪЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ
ИЗ ПЛАСТОВ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2019

Работа выполнена на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Зейгман Юрий Вениаминович

Официальные оппоненты: **Ковалева Лиана Ароновна**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный
университет» / кафедра «Прикладная физика»,
заведующий кафедрой

Телков Виктор Павлович
кандидат технических наук,
ФГАОУ ВО «Российский государственный
университет нефти и газа (национальный
исследовательский университет) имени
И.М. Губкина» / кафедра «Разработка и
эксплуатация нефтяных месторождений», доцент

Ведущая организация Закрытое акционерное общество «Ижевский
нефтяной научный центр» (ЗАО «ИННЦ»),
г. Ижевск

Защита диссертации состоится 14 марта 2019 г. в 16-00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2019 года.

Ученый секретарь



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Возрастающая доля истощенных запасов основных нефтяных месторождений, прежде всего, на залежах, находящихся в длительной разработке, и ухудшается структурой остаточных запасов нефти, связанных с образованием застойных, тупиковых и слабо дренируемых зон ведет к дополнительным затратам при их извлечении, что обусловлено снижением эффективности проводимых геолого-технических мероприятий (ГТМ) и в целом ухудшением технологических показателей разработки объекта нефтедобычи. В связи с этим возникает задача повышения эффективности проводимых ГТМ и улучшения технологических показателей разработки залежей нефти путем изучения и создания достоверных цифровых геолого-технологических моделей пластов с учетом особенностей геологического строения и их фильтрационных характеристик. Одним из эффективных мероприятий по извлечению остаточных запасов нефти из низкопроницаемых коллекторов является гидравлический разрыв пласта (ГРП), однако, его эффективность не всегда высокая.

Степень разработанности темы

Большой вклад в науку и практику в решение проблемы выработки трудноизвлекаемых запасов внесли коллективы институтов гг. Москвы, Уфы, Казани, Тюмени, Бугульмы, а также ученые в области разработки нефтяных месторождений: В.Е. Андреев, Р.Н. Бахтизин, Ю.В. Зейгман, С.А. Жданов, А.И. Пономарев, М.М. Хасанов, Р.Р. Ибатуллин, Р.Д. Каневская, Ю.А. Котенев, И.Т. Мищенко, Н.Н. Михайлов, М.А. Мохов, Р.Х. Муслимов, А.В. Насыбуллин, Д.К. Сагитов, Ш.Х. Султанов, Н.И. Хисамутдинов, М.К. Hubbert, D.G Willis. и многие другие. Однако существующая проблема учета структурных особенностей залежей при вытеснении нефти изучена в недостаточном объеме. Нет подробной теории основ изучения фильтрационных характеристик вытеснения флюидов с учетом структурных особенностей объекта при применении технологии ГРП в нефтеносных пластах. В то же время применение технологии ГРП не всегда может быть эффективной. Она зависит от близости водонефтяного контакта, от коллекторских характеристик пласта,

структурных особенностей объекта и образования застойных зон. В работе приводится разделение залежи нефти на отдельные геологические структуры для более полного изучения механизма формирования невыработанных зон и подбора объекта для извлечения нефти с применением ГРП.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.17: промыслово-геологическое (горно-геологическое) строение залежей и месторождений углеводородов и подземных хранилищ газа, пластовых резервуаров и свойства насыщающих их флюидов с целью разработки научных основ геолого-информационного обеспечения ввода в промышленную эксплуатацию месторождений углеводородов и подземных хранилищ газа (п. 1); научные аспекты и средства обеспечения системного комплексного (мультидисциплинарного) проектирования и мониторинга процессов разработки месторождений углеводородов, эксплуатации подземных хранилищ газа, создаваемых в истощенных месторождениях и водонасыщенных пластах с целью рационального недропользования (п. 3); научные основы компьютерных технологий проектирования, исследования, эксплуатации, контроля и управления природно-техногенными системами, формируемыми для извлечения углеводородов из недр или их хранения в недрах с целью эффективного использования методов и средств информационных технологий, включая имитационное моделирование геологических объектов, систем выработки запасов (п. 5).

Цель работы

Повышение выработки остаточных запасов нефти технологией ГРП на основе численного моделирования с учетом геологических свойств и технологических показателей разработки пластов верхнеюрских отложений.

Основные задачи исследования

1 Изучение влияния особенностей геологического строения залежей нефти в верхнеюрских отложениях на эффективность проведения ГРП.

2 Уточнение распределения остаточных запасов нефти путем изучения основных зависимостей фильтрационно-емкостных свойств и распределения коэффициента вытеснения по площади рассматриваемого объекта

исследования и дальнейшим его делением на локальные геологические структуры.

3 Разработка методики выбора скважин для проведения ГРП в зонах с остаточными подвижными запасами нефти.

4 Оценка удельной эффективности и технологических показателей выработки запасов нефти технологией ГРП из различных геологических структур.

5 Разработка методов снижения отрицательных последствий от ГРП на скважинное оборудование и технологические показатели отбора продукции из пласта.

Объект исследования

Залежи нефти в терригенных отложениях с высокой неоднородностью по фильтрационно-ёмкостным свойствам (ФЕС).

Предмет исследования

Динамика изменения технологических показателей разработки пластов после проведения ГРП, характеризующихся различной геологической структурой залегания и неоднородностью по ФЕС.

Научная новизна работы

1 Установлена аналитическая зависимость между послойной неоднородностью (квадратом коэффициента вариации проницаемости) пласта и продолжительностью отрицательного эффекта в виде снижения притока жидкости после проведения ГРП для условий Ново-Покурского месторождения, согласно которой продолжительность отрицательного эффекта ГРП в зонах малой неоднородности (до 0,2 д. ед.) резко возрастает.

2 Получена аналитическая зависимость между квадратом коэффициента вариации абсолютной проницаемости и предложенным коэффициентом соотношения проницаемостей, при исследовании которой установлено, что для 90 % точек совокупности данных расхождение сопоставляемых параметров не превышает величину 0,46 д. ед.

3 Выделено 10 основных типов геологических структур, характеризующихся различной деформационной анизотропией, для каждой из которых получена аналитическая зависимость величины прироста добычи

жидкости, изменения пластового давления и обводненности скважин после проведения ГРП и, по результатам которой, доказано получение наибольшего эффекта от применения ГРП на участках, имеющих вид антиклинального и синклинального сложения пород.

Положения, выносимые на защиту

1 Метод определения послойной неоднородности нефтяных пластов по проницаемости в условиях недостаточной информативности и построения карт неоднородности по проницаемости.

2 Экспресс-методика определения и распространения по площади коэффициента вытеснения нефти в неоднородных пластах, позволяющая, в сочетании с картой плотности начальных запасов, определить начальные и остаточные подвижные запасы.

3 Условия приоритетности выбора локальных геологических структур для проведения технологии ГРП.

4 Результаты численного исследования эффективности ГРП в выбранных для ГТМ локальных геологических структур по приросту (отсутствию) дебита, обводненности и изменению пластового давления.

5 Технология и конструкция фильтра-уловителя твердых частиц породы и проппанта после ГРП с целью защиты скважинного оборудования от повреждения и увеличения срока службы.

Методы решения поставленных задач

Поставленные задачи решались на основе изучения состояния разработки нефтяных залежей на поздней стадии разработки с использованием численных методов и моделирования выработки запасов нефти из локальных геологических структур. При этом широко использовались результаты промысловых данных о состоянии выработки остаточных запасов различными технологиями извлечения нефти.

Теоретическая значимость работы

1 Установлена аналитическая зависимость между послойной неоднородностью (квадратом коэффициента вариации проницаемости) пласта и продолжительностью отрицательного эффекта в виде снижения притока жидкости после проведения ГРП.

2 Получена аналитическая зависимость между квадратом коэффициента вариации абсолютной проницаемости и предложенным коэффициентом соотношения проницаемости.

3 Аналитически исследована зависимость величин прироста добычи жидкости, изменения пластового давления и обводненности скважин после проведения ГРП в зависимости от условий залегания пласта.

Практическая значимость работы

1 Разработана методика, позволяющая оперативно оценить послойную неоднородность по проницаемости на основе базы средних значений параметров по скважинам в условиях недостаточной информативности и использование их при формировании текущих ГТМ.

2 Предложена методика построения карт неоднородности, на основе базы средних значений проницаемости и удельной продуктивности по скважинам, позволяющая установить зоны распространения послойно однородного и неоднородного пластов по проницаемости для дальнейшего формирования эффективных ГТМ.

3 Разработан оперативный способ получения и оценки коэффициента вытеснения нефти в неоднородных пластах, в котором он функционально зависит не только от проницаемостных свойств коллектора, но и от неоднородности, с выявлением распространения его численного значения по площади пласта.

4 Результаты, полученные в диссертационной работе, широко используются в работах Инженерного центра по моделированию ПАО «Татнефть», в частности, при построении карт неоднородности пластов при формировании эффективных геолого-технических мероприятий для Восточно-Сулеевской, Алькеевской площадей Ромашкинского и Ново-Покурского месторождений. От внедрения разработанных рекомендаций на Алькеевской площади Ромашкинского месторождения ПАО «Татнефть» в период с 1 марта 2016 г. по 1 марта 2018 г. дополнительно извлечено 1240 тонн нефти с экономическим эффектом в размере 1 млн 350 тыс. рублей.

Достоверность полученных результатов достигалась путем анализа результатов обработки статистической информации высокой

представительности с применением современных методов математического моделирования и численного исследования, а также апробацией результатов на промысловых объектах.

Апробация результатов работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в республике Татарстан «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» (Татарстан, г. Альметьевск, 28 - 29 октября 2016 г.); научно-технических совещаниях ООО НПО «Нефтегазтехнология» (г. Уфа, 2014 - 2016 гг.), ПАО «Татнефть» (г. Альметьевск, 2016 г.); первой международной научно-практической конференции «Булатовские чтения» (г. Ухта, УГТУ, 31 марта 2017 г.), на конференции, посвященной памяти академика А.Х. Мирзаджанзаде (г. Уфа, УГНТУ, 2016 г.).

Публикации и личный вклад автора

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 18 статьях, в том числе 13 в научно-технических изданиях, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, подготовлена и опубликована монография.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы, включающего 134 наименования. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок и 12 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, основные задачи исследования и методы решения, обозначены положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая ценность результатов работы.

В первой главе проанализировано состояние изученности исследуемой проблемы для условий нефтяных месторождений Татарстана и Западной

Сибири на поздней стадии разработки. Показано, что в условиях высокой степени выработанности основных запасов нефти успешность планируемых ГТМ зависит от точности определения геологического строения коллекторов, их фильтрационных характеристик, наличия остаточных запасов нефти и правильного подбора технологий извлечения нефти.

За многолетнюю историю разработки месторождений накопилось значительное количество теоретических исследований и данных опытно-промышленных по изучению ФЕС пласта. В этом направлении эффективно работали такие известные учёные, как Г.Г. Вахитов, Н.Н. Непримеров, Ю.П. Желтов, И.Т. Мищенко, В.Д. Лысенко, Р.Х. Муслимов, М.Л. Сургучев, Б.Ф. Сазонов, Р.Т. Фазлыев, Н.И. Хисамутдинов, И.В. Владимиров, Ю.В. Зейгман, А.И. Пономарев, В.Е. Андреев, Ю.А. Котенев, Р.Р. Ибатуллин и многие другие.

Анализ выполненных и опубликованных работ, результатов опытно-промышленных и лабораторных исследований по вытеснению нефти позволил сделать следующие выводы:

- несмотря на достаточно высокую степень изученности проблемы, остается ряд нерешенных задач, например, влияния геологической структуры на эффективность ГРП;

- существующие технологии извлечения нефти имеют свои недостатки, что ведет к необходимости разработки новых и усовершенствования существующих методик, учитывающих такие параметры, как неоднородность пласта и оперативную оценку петрофизических параметров.

Во второй главе приведено методическое обоснование фильтрационных свойств неоднородных нефтенасыщенных пластов с оценкой их площадного распространения.

В качестве объекта исследования приняты пласты ЮВ₁¹ и ЮВ₁² Ново-Покурского месторождения, которые характеризуются сложным геологическим строением и представлены неоднородными коллекторами по ФЕС.

С целью детального изучения особенностей геологического строения данных пластов и более достоверного установления распределения коллекторских характеристик в них были сопоставлены результаты

геофизических исследований скважин (ГИС) и исследований керна. По результатам данного сопоставления выявлена высокая неоднородность коллекторов, что значительно влияет на распределение извлекаемых запасов по площади и объему. Это влияние необходимо учитывать при формировании геолого-технических мероприятий.

В результате анализа текущего состояния разработки выявлено, что в пределах рассматриваемого объекта исследования одним из основных методов интенсификации добычи трудноизвлекаемых запасов нефти является ГРП, что составляет 68 % от всего объема реализованных ГТМ.

Анализ внедрения ГРП показывает, что в пределах выбранного объекта исследования выявлены негативные последствия в виде снижения нефтеотдачи из-за более интенсивного роста обводненности добываемой продукции в некоторых обработанных и, особенно, в окружающих скважинах.

Установлено, что доля неэффективных мероприятий увеличивается при повторном проведении ГРП на одних и тех же скважинах. Это говорит о том, что выбор участка с ГТМ и определение скважины для ГРП проводятся с какими-то недочётами. Суть дальнейших исследований состоит в том, чтобы найти эти недочёты на конкретном объекте разработки (Таблица 1).

При детальном исследовании степени влияния геологических и технологических факторов на эффективность ГРП была установлена взаимосвязь между продолжительностью отрицательного эффекта после ГРП и послойной неоднородностью (квадратом коэффициента вариации неоднородности по проницаемости) пласта (Рисунок 1).

Одним из важнейших параметров неоднородности по ФЕС, определяющих процессы фильтрации в пласте при различных соотношениях фаз «нефти и воды» к забоям скважин, является послойная неоднородность пласта по проницаемости. Разработана методика построения карты неоднородности пластов, которая сначала оценивает соотношение проницаемостей K/K_m , где K – средняя проницаемость по скважинным данным (учитывающая неоднородность), а K_m – полученная путем пересчета через пористость по петрофизической зависимости (для однородного пласта).

Таблица 1 – Оценка эффективности при повторном проведении ГРП

Кол-во ГРП в скважинах, шт Эффект, шт	1 ГРП	2 ГРП	3 ГРП	4 ГРП
	Положительный	171	75	10
Отрицательный, шт (%)	21 (11,1%)*	35 (31,8%)*	12 (57,1%)*	2 (66,6%)*
Всего	192 (58,5%)**	110 (34,1%)**	22 (6,5%)**	3 (0,9%)**

* - процент от данного количества; ** - процент от общего количества

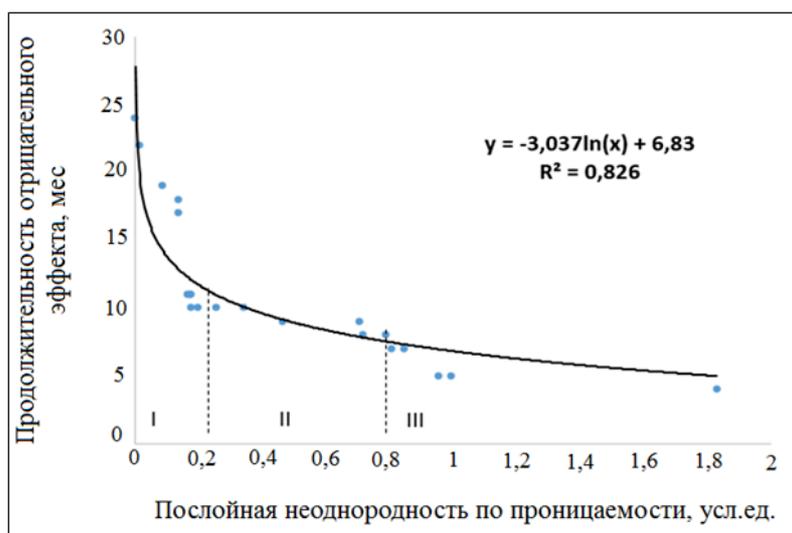


Рисунок 1 – Зависимость продолжительности отрицательного эффекта в результате проведения ГРП от послойной неоднородности по проницаемости пласта

По карте послойной неоднородности пласта (K/K_m) выявляются зоны, в которых данное соотношение равно 1 (Рисунок 2). Учитывая, что из литературы известно, что средняя проницаемость по скважинным данным равна (для однородного пласта) или больше (для неоднородного пласта), чем проницаемость, вычисленная по формуле ГИС через среднюю пористость, участки, в которых $K/K_m = 1$, будут представлять собой зоны распространения

однородного пласта, а остальные участки ($K/K_m > 1$) – зоны распространения послойно неоднородного по проницаемости пласта. Так как построенная карта неоднородности может содержать определенные погрешности, то в действительности в зонах распространения однородного пласта соотношение K/K_m может отличаться от 1. В результате анализа базы средних значений параметров пластов ЮВ₁², представляющих собой набор данных средневзвешенных по толщине пористости m и проницаемости K , с дальнейшим построением карты неоднородности согласно вышеописанной методике было установлено, что значения параметра соотношения проницаемостей K/K_m по карте неоднородности могут изменяться в диапазоне от 1 до 4,5 д. ед.

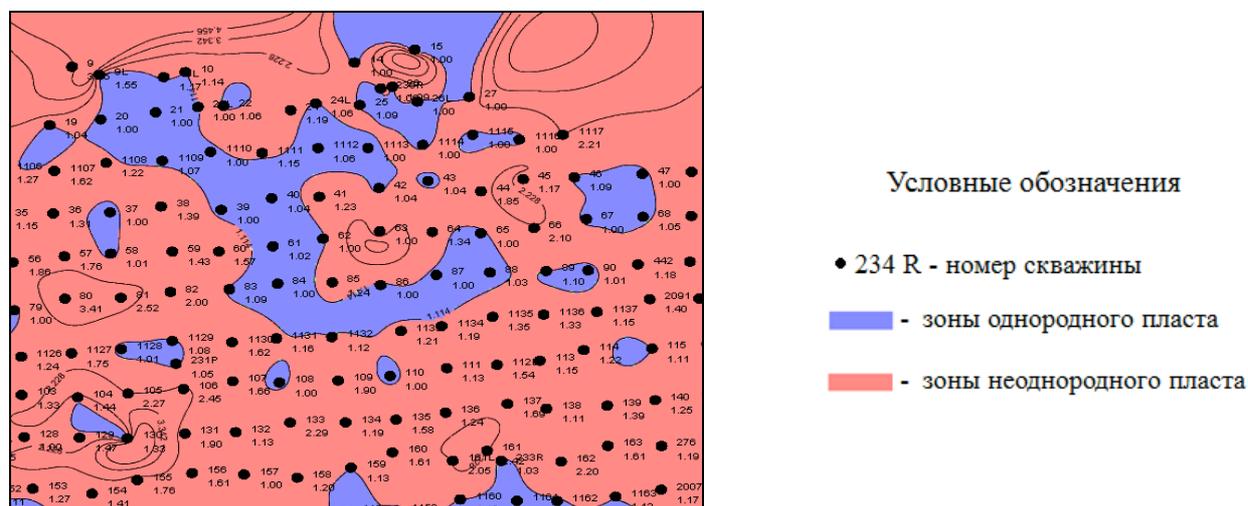


Рисунок 2 – Фрагмент карты неоднородности по проницаемости пласта ЮВ₁²

Карта неоднородности, полученная согласно данной методике, позволяет установить зоны распространения послойно однородного и неоднородного пласта по проницаемости. При использовании данной карты увеличивается достоверность определения фильтрационного сопротивления, как важнейшего параметра при формировании ГТМ в пределах данного объекта исследования, особенно при оптимизации системы заводнения.

Показан способ оценки послойной неоднородности нефтяных пластов по проницаемости на основе базы средних значений параметров по скважинам в случае отсутствия полной базы результатов интерпретации геофизических

исследований скважин (РИГИС). Отмечено, что использование данного способа позволяет значительно увеличить адресность формируемых ГТМ, направленных на доизвлечение остаточных запасов нефти из объектов в поздней стадии разработки с оптимизацией системы заводнения.

Для этого были обобщены результаты расчета коэффициента соотношения проницаемостей (КСП) - K/K_m на основе базы средних параметров по скважинам рассматриваемого объекта исследования в сравнении с величиной квадрата коэффициента вариации проницаемости слоев V_1^2 .

Зависимость $V_1^2 = f(K/K_m)$ для рассматриваемого объекта по методу прямой наилучшего приближения или методу ранжирования данных имеет вид (1):

$$V_1^2 = 1,58 \cdot \left(\frac{K}{K_m} - 1 \right). \quad (1)$$

Используя значение V_1^2 , возможна оценка послойной неоднородности пластов по проницаемости на основе базы средних значений параметров по скважинам без использования полной базы РИГИС и построение карты неоднородности пласта.

Для оценки точности использования формулы (1) был построен кросс-плот сопоставления квадрата коэффициента вариации по проницаемости слоев V_1^2 , сосчитанной с использованием полной базы РИГИС, и неоднородности V_1^2 , полученной путем пересчета КСП по формуле 1 (Рисунок 3).

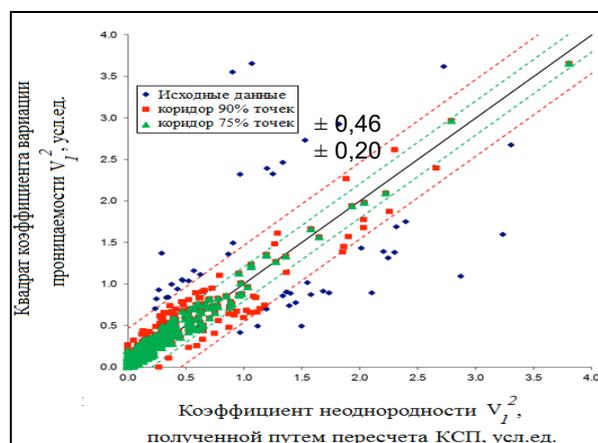


Рисунок 3 – Сопоставление квадрата коэффициента вариации по проницаемости слоев и неоднородности, полученной путем пересчета КСП

Значения «невязок» в характерных точках представляют собой величину доверительных интервалов с надежностью, соответствующей их накопленной частоте. Например, для зависимости $V_1^2 = f(K/K_m)$ в рассматриваемом примере с уровнем достоверности 90 % значение квадрата коэффициента вариации по проницаемости V_1^2 равно неоднородности V_1^2 , полученной путем пересчета КСП, с доверительным интервалом $\pm 0,46$ (Рисунок 3).

В этом случае формула (1) примет вид (2):

$$V_1^2 = 1,58 \cdot \left(\frac{K}{K_m} - 1 \right) \pm 0,46. \quad (2)$$

Для оценки точности плотности подвижных запасов нефти на базе карт неоднородностей пласта предлагается оперативный способ получения распространения по площади коэффициента вытеснения нефти в неоднородных пластах как функции проницаемости и неоднородности.

С учетом новой методики построения карт послойной неоднородности и коэффициента вытеснения нефти из неоднородного пласта, проведено уточнение распределения текущих запасов нефти по площади залежи пласта ЮВ₁² Ново-Покурского месторождения и построена карта уточненных текущих подвижных запасов нефти (Рисунок 4).

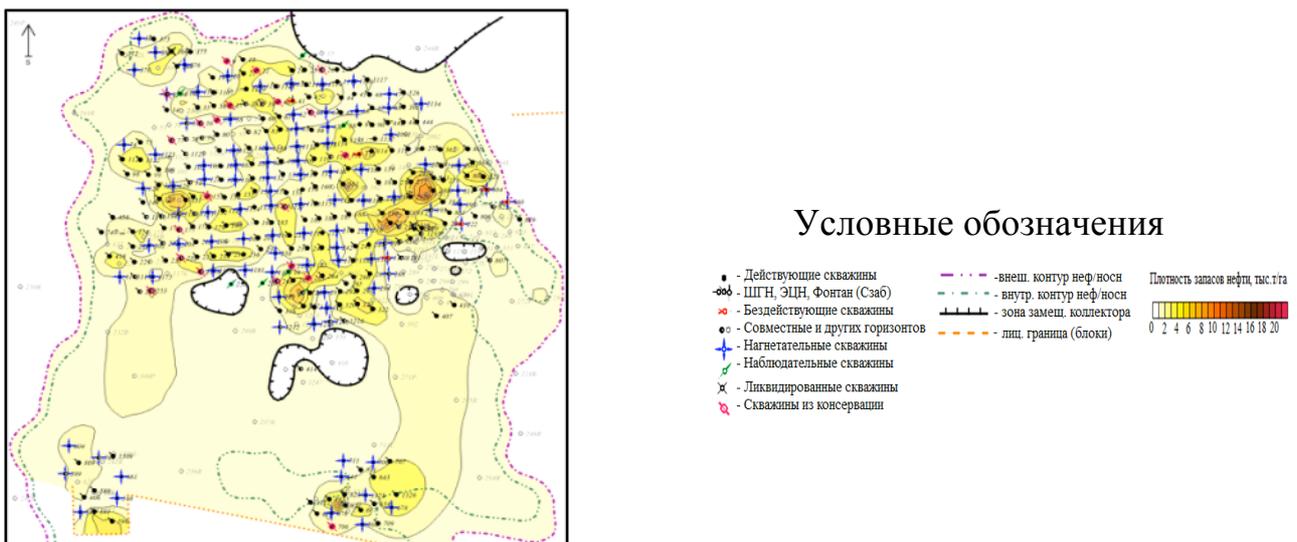


Рисунок 4 – Уточнение текущих подвижных запасов нефти пласта ЮВ₁² Ново-Покурского месторождения

В результате уточнения распространения текущих запасов нефти по площади залежи пласта ЮВ₁² с изменением их распределения по площади от текущего составило 6,2 %, а в абсолютном значении произошёл прирост текущих запасов нефти на 1,2 %. Учитывая этот факт, можно утверждать, что разработанные методики универсальны и могут быть применены в промысловых условиях, что позволит повысить адресность формирования ГТМ по исследуемому объекту.

В третьей главе показаны приемы локализации участков с выделением объемных структур для проведения в них мероприятий по интенсификации притока нефти.

При разбиении эксплуатационного объекта разработки на отдельные элементы для планирования мероприятий по выработке запасов нефти необходимо учитывать структурную изменчивость пласта путем выделения отдельных геологических структур. Анализ геологического строения нефтяных залежей ряда месторождений показал, что любой геологический объект можно разделить на 10 типов локальных геологических структур, каждая из которых обладает индивидуальностью геологического строения. На базе данной разбивки предлагается проводить и планировать ГТМ, например, ГРП.

Оценка эффективности ГРП по участку залежи по скважинам рассматриваемого месторождения с высокой неоднородностью по проницаемости, проводилась таким же образом с использованием характеристик вытеснения с учетом близко расположенных скважин, работающих на тот же пласт в виде ячейки.

По результатам оценки эффективности ГРП на скважинах выявлено, что воздействие на пласт влияет на показатели работы не только той скважины, в которой проводился ГРП, но и соседних окружающих скважин. Поэтому при планировании ГРП необходимо учесть работу соседних скважин путем выделения несвязанных участков по геологическому или технологическому признаку.

В результате анализа было выявлено неравномерное распределение эффективности мероприятия, поэтому при размещении скважин под ГРП

возникла необходимость изучения особенностей геологического строения, влияющих на их эффективность.

Рассмотрены три способа выделения данных участков: кластеризацией экстремальных точек структурной поверхности, линиями нейтральных токов пластовой жидкости и ячейками добывающих скважин с центром в виде очага нагнетания. Теоретическое обоснование кластерного способа разбивки площади залежи включает в себя следующие этапы:

- аппроксимацию структурной поверхности кровли пласта двумерной функцией;
- поиск локальных минимумов и максимумов двумерной функции;
- нанесение экстремумов на координатную плоскость;
- использование в качестве атрибутов кластеризации координаты, абсолютную отметку экстремумов и радиус кривизны локального участка структурной поверхности;
- расчет функционала качества разбиения и выбор оптимального количества кластеров;
- кластеризация методом k -средних.

Оптимальным является комбинированный вариант разбиения площади залежи на отдельные кластеры с учетом геологического строения пород и рассмотрением внутри них ячеек взаимодействующих нагнетательных и добывающих скважин. Общая схема деления залежи на участки представлена на Рисунке 5.

Путем сопоставления изолиний изменения структуры на геологических профилях, проведенных в четырех разных направлениях, выявлено, что каждый геологический объект в ячейке скважины имеет приоритетное направление изменения структуры.

Теоретически обоснован способ распознавания локальных структур в геологическом теле ячейки скважины, включающий в себя сравнение вейвлет-изолинии изменения структуры по приоритетному направлению с элементарным образом локальной структуры (Рисунок 6).

Анализ геологического строения нефтяных залежей месторождений Урало-Поволжья показал, что любой геологический объект можно разделить на локальные структуры, которые, в свою очередь, можно классифицировать по определенному признаку. Исходя из проведенного анализа, была проведена типизация геологического разреза с выделением 10 типов локальных структур: локальная антиклиналь (ЛА), локальная синклиналь (ЛС), единичная синусоида (ЕС), терраса, овраг, вал, антиклинальная синусоида (АС), синклинальная синусоида (СС), падающая синусоида (ПС), циклическая синусоида (ЦС) (Рисунок 7).

Идентификация типа его локальной структуры позволяет повысить уровень детализации выделенного объекта разработки и учесть при формировании геолого-технических мероприятий на данном объекте гравитационные, капиллярные и другие эффекты, связанные с геологическим строением пластовой системы.

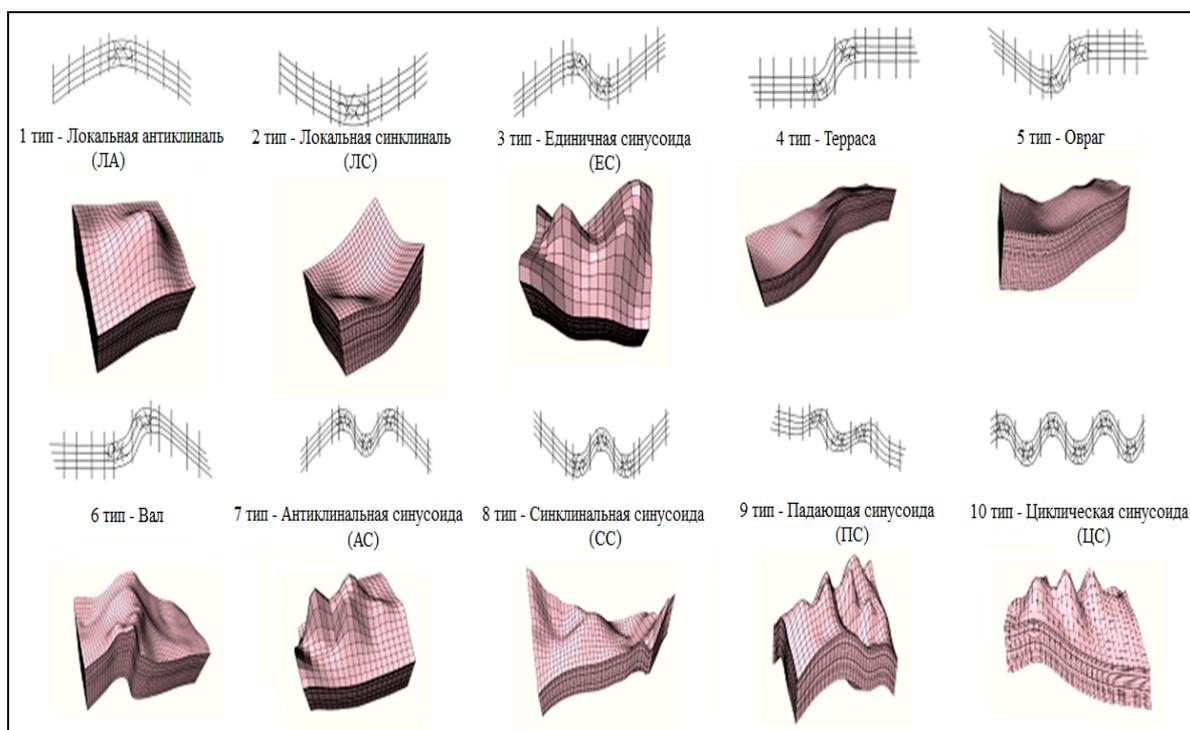


Рисунок 7 – Объемные фигуры локальных геологических структур, выделенные из трехмерной геологической модели путем распознавания образов

В четвертой главе приведена оценка эффективности технологии ГРП с учетом образованных геологических структур.

С целью определения взаимосвязи между эффективностью проводимых мероприятий и структурой пласта численными исследованиями был проведен анализ эффективности мероприятий ГРП с определением средних значений эффективности по предварительно выделенным локальным структурам.

Полученные новые подходы к оценке выбора и определения эффективности технологий ГРП путем образования геологических структур позволяют более достоверно смоделировать изменение технологических показателей: накопленную добычу по жидкости, эффект от проведения ГРП, изменение пластового давления после ГРП.

Выполненный с помощью этих данных расчет технологических показателей от ГРП проведен в пакете гидродинамического моделирования «Tempest», а показатели скважин принимались в соответствии с промышленными данными. Толщина пласта составляла 20 м. Начальное значение пластового давления принято равным 26,6 МПа. Перфорированная толщина равна 5 м. Временной интервал составил 10 лет, прогноз эффективности ГРП был принят 7 лет. Дата начала проведения ГРП - с 1 января 2003 года.

По принятым данным и результатам численных исследований были построены графики, характеризующие эффективность ГРП (Рисунок 8). Численные исследования включали динамику изменения дебита по очередности в отдельных геологических структурах, а также изменение пластового давления. Оценен накопленный эффект от ГРП для каждого типа структур.

В результате моделирования и расчетов выделены четыре группы по показателям приоритетности выбора скважин в ячейках, и построены карты приоритетности (Рисунок 9).

С целью снижения негативных последствий, связанных с технологическими осложнениями в работе насосного оборудования после проведения ГРП, в работе предложена технология, и разработана конструкция для улавливания твердых частиц и проппанта, выполненного в виде фильтра.

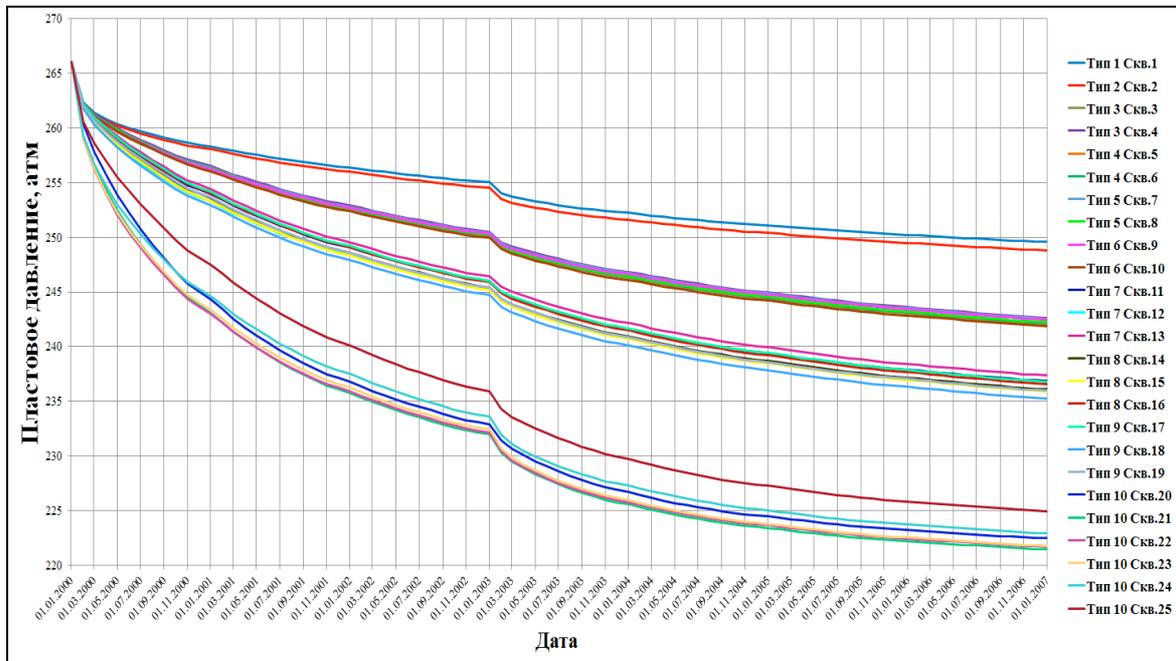
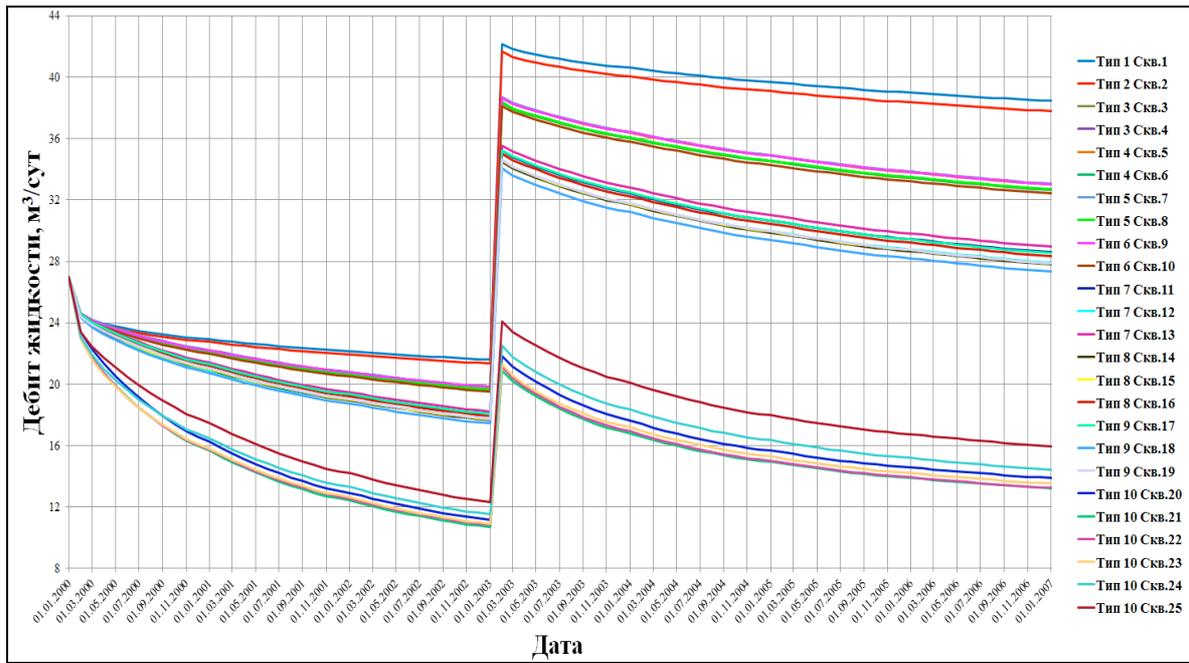


Рисунок 8 – Изменения добычи жидкости и пластового давления по скважинам в каждом типе геологических структур в результате проведения ГРП

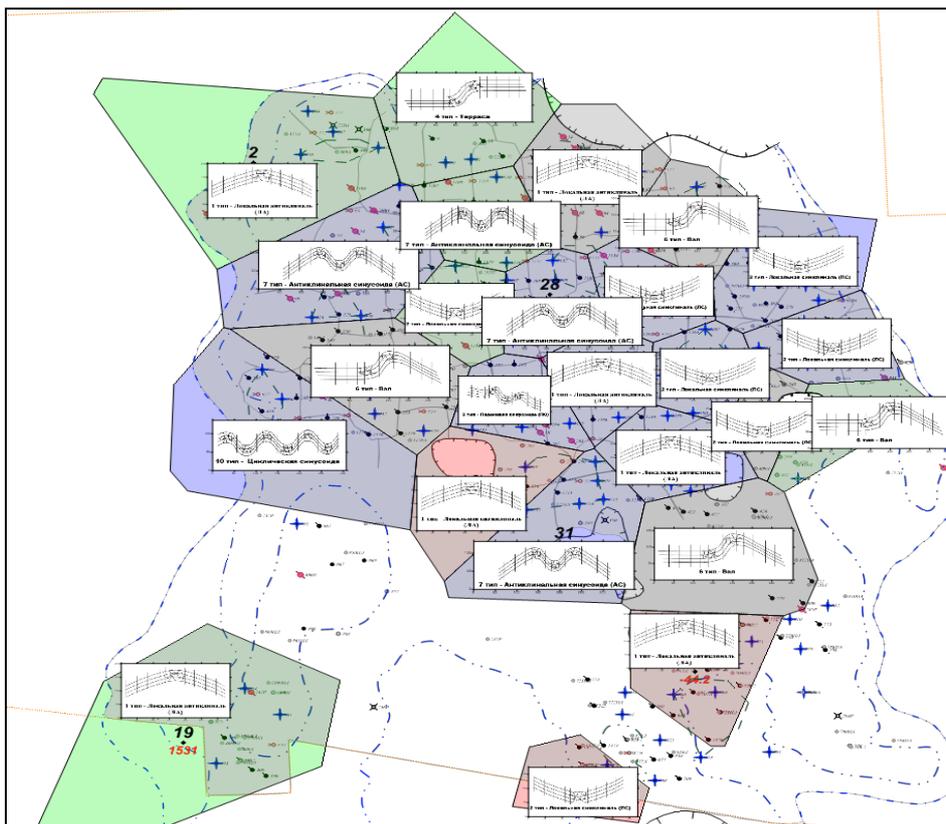


Рисунок 9 – Карта типов геологических структур, разделенных на группы высокой, средней и низкой приоритетности, совмещенные с картой остаточных извлекаемых запасов нефти

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 На основе обзора литературных источников, обобщения опыта проведения ГРП и изучения геологического строения объекта исследования установлено, что эффективность проведения ГРП зависит от особенностей структуры залегания пласта и послойной неоднородности коллекторов по проницаемости.

2 В результате анализа основных зависимостей ФЕС пласта разработана экспресс-методика построения карт послойной неоднородности, карт подвижных запасов и коэффициента вытеснения, позволяющих с учетом данных истории разработки объекта оценить остаточные извлекаемые запасы для использования их при составлении ГТМ. Для повышения точности расчета остаточных запасов нефти теоретически обоснован кластерный способ разбиения площади залежи на локальные структуры по геологическим

признакам и проведена типизация геологического разреза с выделением 10 типов локальных геологических структур с использованием способа распознавания структур в ячейке скважины.

3 Разработана методика выбора скважин для ГРП путем численного исследования зависимости эффективности гидроразрыва пласта от накопленного объема жидкости (нефти), изменения пластового давления, обводненности по каждому типу геологической структуры, и учитывающая следующие параметры:

- послойной неоднородности коллектора;
- удельной плотности подвижных или извлекаемых запасов;
- удельной дополнительной добычи нефти на метр нефтенасыщенной толщины пласта.

4 Выполнена оценка динамики эффективности и технологических показателей выработки запасов нефти технологией ГРП из предложенных 10 типов локальных геологических структур. Установлено, что на участках с меньшим количеством перегибов в локальных структурах дополнительная добыча от ГРП выше. Наибольший эффект от применения ГРП достигается на участках, имеющих вид антиклинали и синклинали.

5 Разработан способ снижения отрицательного влияния проппанта после ГРП на скважинное оборудование и технологические показатели отбора продукции из пласта путем установки в скважине двухкамерного фильтра-ловушки.

Экономический эффект. По результатам внедрения предложенных методик совершенствования выбора объекта воздействия технологиями ГРП в 2016 - 2018 гг. на Алькеевской площади Ромашкинского месторождения дополнительная добыча нефти составила 1240 тонн с экономическим эффектом 1,350 млн руб.

Основные результаты работы опубликованы в следующих научных трудах:

Ведущие рецензируемые научные издания

1 Бахтизин Р.Н., Нургалиев Р.З., Уразаков К.Р. и др. Исследование характеристики каркасно-проволочного фильтра численным гидродинамическим моделированием // НТЖ «Нефтяное хозяйство». 2017. № 10. С. 113 - 115.

2 Халимов, Р.Х. Методика построения карт неоднородности пластов при формировании эффективных геолого-технических мероприятий. [Текст] / Р.Х. Халимов, Р.З. Нургалиев, З.А. Лощева, А.А. Махмутов, Н.И. Хисамутдинов // НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2016. № 12. С. 53 - 55.

3 Халимов, Р.Х. Способ оценки послойной неоднородности нефтяных пластов по проницаемости в условиях недостаточной информативности. [Текст] / Р.Х. Халимов, Р.З. Нургалиев, А.А. Махмутов, Н.И. Хисамутдинов // НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2016. № 12. С. 56 - 58.

4 Махмутов, А.А. Оценка распространения коэффициента вытеснения нефти по площади в неоднородных пластах. [Текст] / А.А. Махмутов, Р.Г. Сарваретдинов, Р.З. Нургалиев, В.А. Ленский, М.А. Токарев // НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2016. № 12. С. 59 - 61.

5 Нургалиев, Р.З. Оценка эффективности ГРП с учетом образованных геологических тел. [Текст] / Р.З. Нургалиев, Р.И. Галлямов, А.А. Махмутов, Е.В. Корнев, А.Н. Астахова // НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2017. № 3. С. 57 - 62.

6 Нургалиев, Р.З. Уточнение распределения локальных геологических структур на примере геологического строения Абдрахмановской площади Ромашкинского месторождения. [Текст] / Р.З. Нургалиев, Р.И. Галлямов, Е.В. Корнев // НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». Москва: ВНИИОЭНГ. 2017. № 3. С. 54 - 57.

7 Нургалиев, Р.З. Способ восстановления петрофизической зависимости «пористость - проницаемость» на основе средних значений параметров ФЕС неоднородного пласта. [Текст] / НТЖ «Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности». Москва: ВНИИОЭНГ. 2017. № 3. С. 47 - 49.

8 Нургалиев, Р.З. Экспресс-метод выделения локальных структур на геологическом разрезе для планирования геолого-технических мероприятий. [Текст] // Р.З. Нургалиев, Р.И. Галлямов, И.Р. Сафиуллин / НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». Москва: ВНИИОЭНГ. 2017. № 4. С. 48 - 51.

9 Нургалиев, Р.З. Оценка достоинств и недостатков основных технологий вытеснения нефти водой из неоднородных по проницаемости нефтяных коллекторов / НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». № 10. 2017. С. 5 - 8.

10 Нургалиев, Р.З. Оценка эффективности гидроразрыва пласта в нагнетательных скважинах [Текст] / Р.З. Нургалиев, И.Р. Мухлиев, Н.И. Хисамутдинов, И.Ш. Щекатурова, А.А. Рахматуллин // НТЖ «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2018. № 3. С. 52 - 57.

11 Нургалиев, Р.З. Оценка эффективности гидроразрыва пласта в добывающих скважинах и детализация по критериям применимости [Текст] / Р.З. Нургалиев, Р.Б. Рафиков, Н.И. Хисамутдинов, И.Ш. Щекатурова, А.Г. Хабибрахманов // НТЖ «Нефтепромышленное дело». Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2018. № 3. С. 11 - 18.

12 Нургалиев, Р.З. Особенности влияния интерференции скважин на эффективность гидравлического и газодинамического разрыва пласта [Текст] /

Р.З. Нургалиев, И.Р. Мухлиев, Л.Р. Сагидуллин, И.Ш. Щекатурова, А.А. Рахматуллин // НТЖ «Нефтепромысловое дело». Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2018. № 3. С. 29 - 34.

13 Учет влияния геологических факторов на эффективность ГРП на примере Ново-Покурского месторождения / Ю.В. Зейгман, Р.З. Нургалиев, Н.И. Хисамутдинов, Р.Х. Гильманова, А.А. Махмутов // Сетевое научное издание «Нефтяная провинция». № 3 (15). 2018. С. 44 - 51.

Монография

14 Бахтизин, Р.Н. Эксплуатация насосных скважин, осложненных механическими примесями / Р.Н. Бахтизин, Р.З. Нургалиев, К.Р. Уразаков. Уфа: Изд-во УГНТУ. 2015. 91 с.

Прочие печатные издания

15 Патент № 2663778 Российской Федерации. Скважинный фильтр тонкой очистки. Бахтизин Р.Н., Нургалиев Р.З., Уразаков К.Р. Заявка №2017126822 от 25.07.2017, опублик. 09.08.2018.

16 Нургалиев, Р.З. К вопросу определения потерь и повышения эффективности в системе поддержания пластового давления [Текст] / Р.З. Нургалиев, И.П. Ситдикова, В.В. Самойлов, А.В. Мигачев // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. 2016. Том II. С. 201 - 206.

17 Нургалиев, Р.З. Особенности эксплуатации насосных скважин после гидравлического разрыва пласта / Р.З. Нургалиев, А.С. Топольников, К.Р. Уразаков // Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика А.Х. Мирзаджанзаде. Сборник тезисов. Уфа, УГНТУ, 2016. С. 80 - 84.

18 Нургалиев Р.З., Топольников А.С., Уразаков К.Р. Перепад напора на фильтре насосных скважин после гидравлического разрыва пласта. Материалы I международной научно-практической конференции «Булатовские чтения». Сборник статей. В 5-ти томах (Том 2). Под общей редакцией О.В. Савенок. Краснодар: Издательский дом – Юг. 2017. С. 186 - 187.