

На правах рукописи

Каип

КОЛТЫРИН АРТУР НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ
НА БАТЫРБАЙСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь, 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Научный руководитель: **Галкин Владислав Игнатьевич**
доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ленченкова Любовь Евгеньевна**
доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа)

Белозеров Иван Павлович
кандидат технических наук, заведующий лабораторией УПЛПИК ИТЦ АНГЛИ ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» (г. Архангельск)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь

Защита диссертации состоится 27 декабря 2023 в 15.00 на заседании диссертационного совета Пермского национального исследовательского политехнического университета Д ПНИПУ.05.15, по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (www.pstu.ru).

Автореферат разослан «_____» г.

А. А. Мелехин

Ученый секретарь,
кандидат технических наук, доцент

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Значительная часть остаточных запасов нефти сосредоточена в неоднородных малопроницаемых коллекторах. Увеличение добычных возможностей скважин достигается посредством использования геолого-технических мероприятий (ГТМ).

Важным этапом планирования ГТМ является прогнозирование технологических показателей скважины. Существующие способы прогнозирования эффективности ГТМ, как правило, основаны на аналитической методике расчета удельной продуктивности окружающих скважин (скважин-аналогов) или привлечении возможностей машинного обучения. Указанные способы прогнозирования не всегда обеспечивают достаточную степень достоверности результатов, что подтверждается сопоставлением фактических и расчетных значений. Кроме того, использование нейросетевых методов не позволяет достаточно точно определить причины низкой достоверности прогнозных моделей в связи с их высокой сложностью и отсутствием прозрачности заложенных алгоритмов. В связи с этим, актуальной задачей является разработка методики прогнозирования эффективности различных ГТМ (пропантного гидравлического разрыва пласта (ГРП), радиального бурения (РБ), кислотных обработок (КО)), обеспечивающей высокую сходимость фактических и прогнозных данных. При этом наиболее перспективным инструментом анализа представляется использование вероятностно-статистических методов, главное достоинство которых – использование фактических геолого-промысловых данных.

Степень разработанности темы исследований.

Оценке эффективности ГТМ посвящены работы многих российских и зарубежных исследователей: Христиановича С. А., Сургучева М. Л., Пирвердян А. М., Желтова Ю. П., Economides M. J., Каневской Р. Д., Ахметзянова А. В., Саттарова Р. М., Галкина В. И. Анализ работ показывает, что в текущее время нет единого метода прогнозирования показателей работы скважины после проведения различных ГТМ.

Целью работы является повышение эффективности планирования пропантного ГРП, РБ и КО в карбонатных и терригенных отложениях Батырбайского газонефтяного месторождения с использованием разработанных вероятностно-статистических моделей.

Основные задачи исследования:

1. Анализ опыта применения ГТМ в тульском терригенном и верейском карбонатном объектах Батырбайского газонефтяного месторождения с проведением статистической оценки влияния геолого-технологических и технических параметров на их эффективность.

2. Разработка многоуровневых вероятностно-статистических моделей прогноза среднесуточного прироста дебита нефти после выполнения пропантного ГРП, РБ и КО.

3. Разработка комплексной методики оценки эффективности различных ГТМ.

Объектом исследования являются тульский терригенный и верейский карбонатный объекты разработки Батырбайского газонефтяного месторождения.

Предметом исследования является технологическая эффективность операций ГРП, РБ и КО на добывающих скважинах.

Научная новизна и теоретическая значимость выполненной работы:

1. Впервые выявлены основные геолого-технологические и технические параметры, комплексно оказывающие влияние на эффективность ГРП, РБ и КО на эксплуатационных объектах Батырбайского газонефтяного месторождения.

2. Разработаны комплексные многоуровневые вероятностно-статистические модели для оценки эффективности ГРП, РБ и КО.

3. Установлен площадной характер распространения эффективности ГРП, РБ и КО, что позволило повысить качество подбора скважин-кандидатов для применения технологий.

Практическая значимость положений и выводов:

1. Обоснованы основные факторы, влияющие на эффективность ГТМ в терригенных и карбонатных отложениях Батырбайского газонефтяного месторождения.

2. Разработана методика прогнозирования среднесуточного прироста дебита нефти после применения ГРП, РБ и КО (акт внедрения в Филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми).

Методология и методы исследования. В ходе исследования при проведении обработки и анализа значительного объема промысловых данных используются известные методы математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Индивидуальные вероятностно-статистические модели для оценки эффективности пропантного ГРП в тульском терригенном объекте и технологий пропантный ГРП, РБ и КО в верейском карбонатном объекте разработки Батырбайского газонефтяного месторождения.

2. Комплексные многоуровневые вероятностно-статистические модели, позволяющие прогнозировать эффективность пропантного ГРП, РБ и КО.

3. Схемы приоритетного выбора скважин-кандидатов для проведения пропантного ГРП, РБ и КО в карбонатных верейских отложениях Батырбайского газонефтяного месторождения.

Личный вклад автора. Вклад автора заключается в сборе и анализе геолого-промысловых данных; в формировании многоуровневых вероятностно-статистических моделей эффективности различных ГТМ; в разработке комплексных прогнозных моделей; в построении схем приоритетного выбора скважин-кандидатов для проведения ГРП, РБ и КО.

Степень достоверности и апробация результатов.

Для оценки результатов прогнозов, полученных в ходе построения многоуровневых вероятностных моделей, использованы экзаменационные выборки данных, подтверждающие согласованность фактических и расчетных значений среднесуточного прироста дебита нефти по предложенной методике.

Основные результаты исследований докладывались на ежегодных конкурсах на лучшую научно-техническую разработку ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (г. Пермь, 2017-2018 гг.) и всероссийских конференциях: «Геология в развивающемся мире» (г. Пермь, 2019 г.), ежегодной Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения» (г. Краснодар, 2019-2020 гг.), на всероссийской научно-практической конференции «Дискуссии в области гуманитарных, естественно-научных аспектов современности» (г. Симферополь, 2022 г.), на международной научно-практической конференции «Глобальные проблемы научной цивилизации, пути совершенствования» (г. Ставрополь, 2022 г.), на всероссийской научно-практической конференции «Цифровизация современной науки: стратегии, инновации» (г. Симферополь, 2022 г.), на международной научно-практической конференции «Мировые научные исследования современности: возможности и перспективы развития» (г. Ставрополь, 2022 г.), на заседании Президиума Ученого совета ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (г. Москва, 2023 г.).

Публикации по теме исследования. Опубликовано 19 печатных работ, в том числе 12 статей в журналах, входящих в перечень ведущих журналов и изданий, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 175 наименований, одного приложения. Текст изложен на 165 страницах машинописного текста, иллюстрирован 94 рисунками и содержит 70 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность за ценные советы и поддержку в ходе подготовки диссертации научному руководителю, заслуженному деятелю науки РФ, доктору геолого-минералогических наук, профессору Владиславу Игнатьевичу Галкину.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе анализа литературных источников установлено, что существует множество различных методик, позволяющих прогнозировать эффективность ГТМ, в частности, начальный среднесуточный прирост дебита нефти. На практике наибольшее распространение получил аналитический метод расчета прогнозных показателей эффективности ГТМ на основе удельной продуктивности окружающих скважин (скважин-аналогов). Однако данная методика характеризуется невысокой точностью, поскольку она не учитывает параметры проведения ГТМ (массы пропанта, давлений, создаваемых в процессе ГРП, концентрацию пропанта, объем кислотного состава, протяженность радиальных каналов и др.). В качестве примера на рис. 1 приведено сопоставление фактических и прогнозных (по указанной методике) значений прироста дебита нефти после применения пропантного ГРП, выполненное для условий верейского объекта Батырбайского газонефтяного месторождения. Из анализа корреляционного поля следует, что, несмотря на тесную линейную корреляцию между значениями, они группируются с существенным отклонением относительно линии равных значений ($y=x$), что свидетельствует о низкой прогностической способности методики, основанной на расчете удельной продуктивности окружающих скважин.

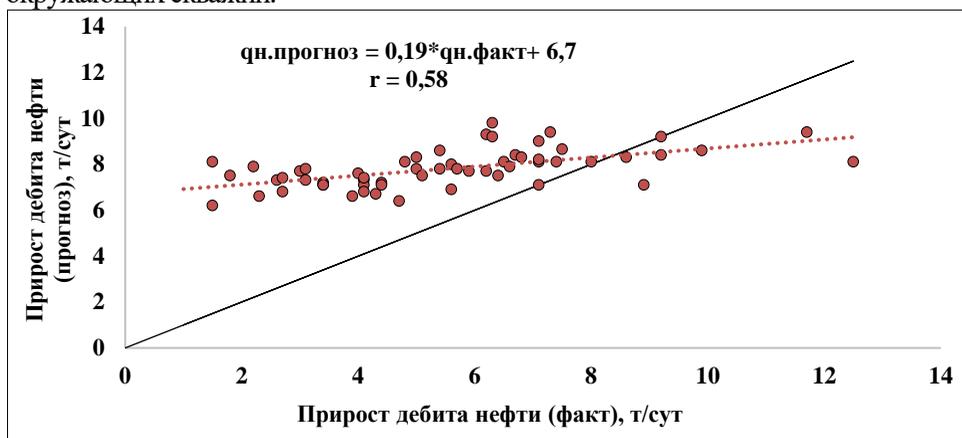


Рисунок 1 – Сопоставление прогнозной и фактической эффективности пропантного ГРП

Таким образом, прогнозирование эффективности пропантного ГРП по аналитической методике, основанной на расчете удельной продуктивности окружающих скважин, не обеспечивает достаточной точности для решения научных и производственных задач, стоящих перед нефтедобывающими предприятиями, и требует разработки методик с более высокими прогностическими возможностями. С этой целью в работе предлагается принципиально иной подход, основанный на обработке накопленного опыта проведения ГТМ вероятностно-статистическими методами. Его преимуществом следует считать тот факт, что построенные многоуровневые вероятностно-статистические модели позволяют не только прогнозировать эффективность ГТМ, но и исследовать влияние геолого-технологических и технических параметров на эффективность воздействия на пласт.

Начальным этапом вероятностно-статистического моделирования является обоснование входных параметров моделирования – перечня исходных геолого-технологических и технических параметров, влияющих на эффективность ГТМ, чему посвящена следующая глава диссертационной работы.

Вторая глава посвящена обоснованию геолого-технологических и технических параметров, влияющих на эффективность ГТМ, которые использованы в качестве исходных данных разрабатываемой методики. Решение поставленной задачи первоначально выполнено применительно к наиболее распространенной на месторождении технологии воздействия на пласт – пропантному ГРП.

Для решения поставленной задачи выполнен анализ накопленного опыта проведения мероприятий в условиях верейского карбонатного и тульского терригенного объектов разработки Батырбайского газонефтяного месторождения. Привлечен широкий спектр геолого-технологических и технических параметров, их информативность (важность) оценена с использованием таких математических инструментов как t_p -критерий Стьюдента и критерий χ^2 . На верейском объекте разработки выполнено 79 операций пропантного ГРП, на тульском объекте разработки – 32 операции. По результатам анализа определены 26 значимых, то есть оказывающих влияние на результаты ГРП геолого-технологических параметров, характеризующих как индивидуальные особенности скважины-кандидата, так и район залежи: коэффициент пористости (m , %); коэффициент продуктивности ($K_{\text{прод}}$, $\text{м}^3/(\text{сут} \cdot \text{МПа})$); коэффициент проницаемости ближней и удаленной зоны пласта ($K_{\text{прон}}^{\text{ПЗП}}$ и $K_{\text{прон}}^{\text{УЗП}}$, соответственно, мкм^2); коэффициент пьезопроводности (γ , $\text{см}^2 \cdot \text{с}$); скин-фактор (S , ед.); данные гамма каротажа (GK ,

мкр/час); данные нейтронногамма каротажа (NGK , усл.ед); эффективная нефтенасыщенная толщина ($h_{эф}$, м); абсолютная отметка залегания кровли ($H_{абс}$, м); пластовое давление до ГРП ($P_{пл}$, МПа); накопленная добыча нефти и воды на момент выполнения ГРП ($Q_{н.н}$ и $Q_{н.в}$, соответственно, т).

Дополнительно определены семь технических параметров, информация по которым становится известной только в момент дизайна и непосредственно проведения пропантного ГРП. К ним относятся: эффективность жидкости разрыва ($\mathcal{E}_{жр}$, %); расход смеси ($Q_{см}$, м³/мин); масса пропанта ($M_{проп}$, т); концентрация пропанта ($K_{проп}$, кг/м³); давление в начале процесса ГРП ($P_{нач}$, атм); среднее давление при выполнении ГРП ($P_{ср}$, атм); давление в конце ГРП ($P_{кон}$, атм).

С целью разделения исходных выборок скважин с опытом проведения пропантного ГРП по рассматриваемым объектам разработки на две группы (эффективные и неэффективные) проведен пошаговый регрессионный анализ (ГПА) 33 информативных параметров. В полном объеме анализ информативных параметров, позволивший обосновать граничное значение между эффективными и неэффективными операциями пропантного ГРП (7 т/сут), представлен в тексте диссертации. В соответствии с полученными результатами все дальнейшие исследования выполняются применительно к двум классам: I класс – эффективные операции ГРП с приростом дебита нефти более 7 т/сут, II класс – неэффективные операции ГРП с приростом дебита нефти менее 7 т/сут. Таким образом, в главе обоснован выбор геолого-технологических и технических параметров, которые используются в качестве исходных данных в разрабатываемом методе прогноза эффективности пропантного ГРП. Кроме того, установлена целесообразность разделения выборок скважин по объектам разработки на два класса в зависимости от эффективности выполненных операций пропантного ГРП. Выполненные подготовительные процедуры являются основой дальнейшего построения многоуровневых вероятностно-статистических моделей, что продемонстрировано в рамках третьей главы диссертации.

Третья глава посвящена разработке метода прогнозирования эффективности ГТМ на основе вероятностно-статистического моделирования. Алгоритм включает в себя три этапа:

- 1) разработка индивидуальных вероятностных моделей первого уровня, позволяющих проводить сопоставление исходных геолого-технологических и технических параметров в единой безразмерной форме;
- 2) разработка моделей второго уровня, позволяющих на основе индивидуальных вероятностных моделей первого уровня проводить комплексную

оценку исходных параметров и находить их наиболее эффективные сочетания вероятностей для прогнозирования эффективности ГТМ с высокой степенью достоверности;

3) разработка моделей третьего уровня, позволяющих на основе вероятностных моделей второго уровня для отдельных ГТМ выполнять построение единой комплексной прогнозной модели для планирования реализации требуемых технологий в различных частях залежи с оценкой их потенциальной эффективности.

Разработка индивидуальных вероятностно-статистических моделей первого уровня для пропантного ГРП производилась по 26 исходным геолого-технологическим и 7 техническим параметрам. Для каждого исходного параметра индивидуально строилась вероятностно-статистическая модель. Процесс построения индивидуальных вероятностно-статистических моделей первого уровня для исходных параметров приведен в тексте диссертационной работы.

В качестве примера продемонстрирована итоговая вероятностно-статистическая модель первого уровня для верейского объекта разработки, позволяющая по индивидуальному значению пластового давления для скважины-кандидата оценить вероятность достижения прироста дебита нефти более 7 т/сут:

$$P(P_{пл.}) = 0,120 + 0,054 * P_{пл.} \quad (1)$$

Графическое изображение модели (1) представлено на рис. 2.

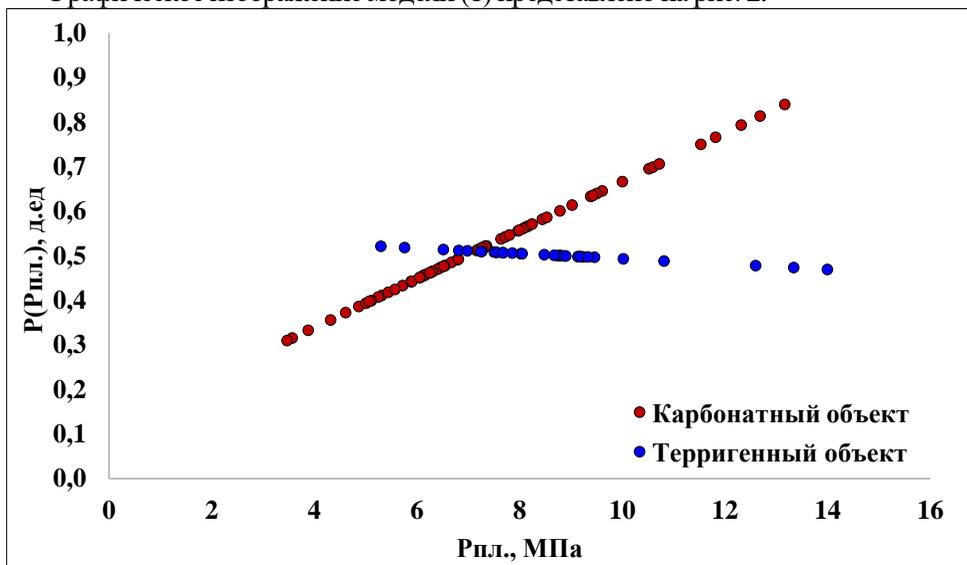


Рисунок 2 – Зависимость $P(P_{пл.})$ от $P_{пл.}$

Признаком влияния какого-либо параметра на результат мероприятия является вид полученной зависимости: чем выше угол наклона, тем выше и степень влияния рассматриваемого параметра на вероятность достижения целевого прироста дебита нефти. В частности, на верейском объекте разработки наблюдается закономерность увеличения вероятности достижения целевого прироста дебита нефти прямо пропорционально увеличению значений пластового давления в зоне дренирования скважины-кандидата. Высокая эффективность пропантного ГРП (более 7 т/сут) на рассматриваемом объекте достигается при значениях пластового давления более 6–7 МПа. В то же время аналогичная модель для тульского объекта ставит под сомнение факт превалирующего влияния пластового давления на эффективность пропантного ГРП, поскольку вероятность $P(P_{пл.})$ невысокая и близка к значению 0,5 д.ед.

По аналогии для каждого из 33 исходных параметров построена индивидуальная вероятностно-статистическая модель первого уровня (всего 33 модели). Важно отметить, что критериями применения пропантного ГРП, обеспечивающими достижение прироста дебита нефти более 7 т/сут, могут быть численные величины параметров, обладающие индивидуальными вероятностями более 0,5 д.ед.

В целом, выполненные преобразования позволили перевести исходные параметры, имеющие разные размерности, в единую безразмерную форму, что упростило проведение последующего сопоставительного анализа.

Для разработки моделей второго уровня и комплексирования индивидуальных вероятностей в единую систему использован принцип, основанный на применении условной комплексной вероятности – $P_K^{ГРП}$. Расчет комплексной вероятности позволяет выявить сочетание индивидуальных вероятностей, при которых достигается наибольший прирост дебита нефти в скважине. Первоначально используются две вероятности, характеризующиеся максимальным расхождением значений между двумя классами. Следует отметить, что должно выполняться условие: для скважин I класса значение условной комплексной вероятности, рассчитанное по двум вероятностям, должно быть более 0,5 д.ед., для скважин II класса – менее 0,5 д.ед. Аналогичные расчеты выполняются для количества вероятностей равное трем, и так пока не будут использованы все индивидуальные вероятности, разработанные по 26 геолого-технологическим и 7 техническим параметрам. Изменения значений условной комплексной вероятности для изучаемых объектов разработки приведено на рис. 3.

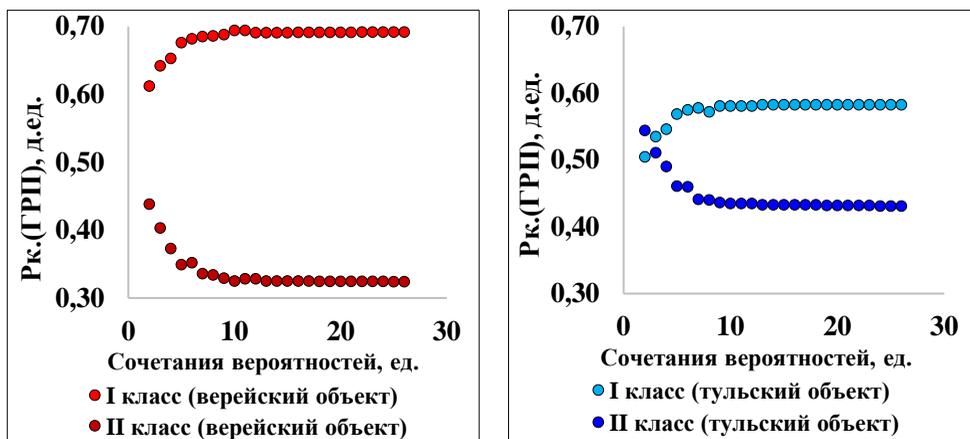


Рисунок 3 – Зависимости $P_k^{ГРП}$ от сочетаний для целевых объектов

Продемонстрировано, что для скважин, относящихся к I классу верейского объекта разработки, увеличение количества используемых индивидуальных вероятностей повышает значения $P_k^{ГРП}$ от 0,612 до 0,692 д.ед. Для скважин II класса значения $P_k^{ГРП}$ последовательно снижаются с 0,438 до 0,324 д.ед. На тульском объекте разработки наблюдаются аналогичные изменения: для I класса – увеличиваются с 0,505 до 0,583 д.ед., для скважин II класса значения снижаются с 0,438 до 0,324 д.ед.

На верейском объекте разработки на эффективность пропантного ГРП с высокой вероятностью влияют геолого-технологические параметры, к которым относятся: пластовое давление, пьезопроводность, проницаемость удаленной зоны пласта и ряд других. На тульском объекте разработки на эффективность технологии оказывают влияние накопленные технологические параметры. Полный список исходных параметров, ранжированный по степени их влияния на эффективность технологии пропантного ГРП, представлен в тексте диссертационной работы. В качестве примера, с помощью рассчитанных комплексных вероятностей для верейского объекта разработки спрогнозирован прирост дебита нефти экзаменационной выборки скважин. На рисунке 4 приведены результаты сопоставления прогнозных и фактических значений приростов дебитов нефти. Например, прогнозная модель для выборки верейского объекта разработки имеет вид (2):

$$q_{н.прогноз}^{ГРП} = -20,3 + 4,2 * P_k^{ГРП}{}_{m=2} + 13,5 * P_k^{ГРП}{}_{m=4} + 26,7 * P_k^{ГРП}{}_{m=7} \quad (2)$$

В представленной прогнозной модели использованы сочетания, учитывающие две, четыре и семь моделей геолого-технологических параметров. Использование сочетаний с более высоким количеством вероятностей параметров нецелесообразно ввиду незначительного расхождения между классами, что показано на рис. 3.

Среднеквадратичное отклонение прогнозных значений от фактических, представленных на рис. 4, не превышает 0,5 т/сут (7%), что позволяет отметить более высокую сходимость результатов по разработанной методике по сравнению с использованием стандартного аналитического метода расчета удельной продуктивности окружающих скважин (рис. 1).

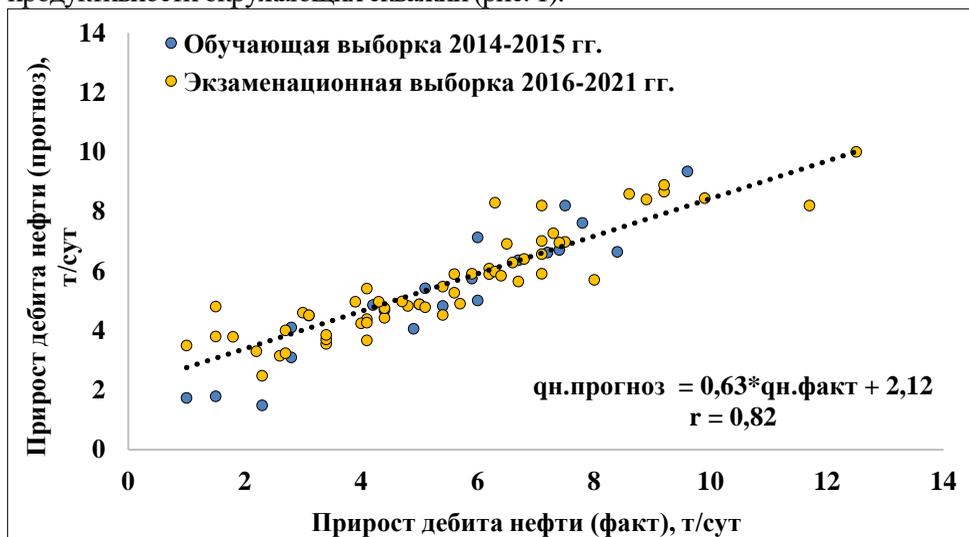


Рисунок 4 – Сопоставление прогнозных и фактических значений приростов дебитов нефти для верейского карбонатного объекта

Для целевых объектов разработки на фонде нефтедобывающих скважин с использованием 26 геолого-технологических параметров построены схемы приоритетного выбора скважин-кандидатов для технологии пропантного ГРП, которые приводятся в тексте диссертации, позволившие установить площадную зональность эффективности мероприятия. Успешность и целесообразность применения вероятностно-статистического метода подтверждена результатами прогнозирования эффективности и других ГТМ (РБ, КО), применяемых на верейском объекте разработки, что описывается в следующей главе.

В четвертой главе применен вероятностно-статистический метод для оценки эффективности использования технологий радиального бурения (РБ) и кислотных обработок (КО) в сравнении с разработанными моделями для пропантного ГРП. Эффективность мероприятий на верейском объекте разработки следующая: средний прирост дебита нефти после РБ – 4,8 т/сут (48 операций), после КО – 3,2 т/сут (29 операций).

Разработаны вероятностно-статистические модели первого уровня по исходным 26 геолого-технологическим параметрам, используемым при построении моделей для оценки эффективности пропантного ГРП. Графическое представление вероятностно-статистических моделей первого уровня параметра $P_{пл.}$ для технологий пропантного ГРП, РБ и КО представлено на рис. 5.

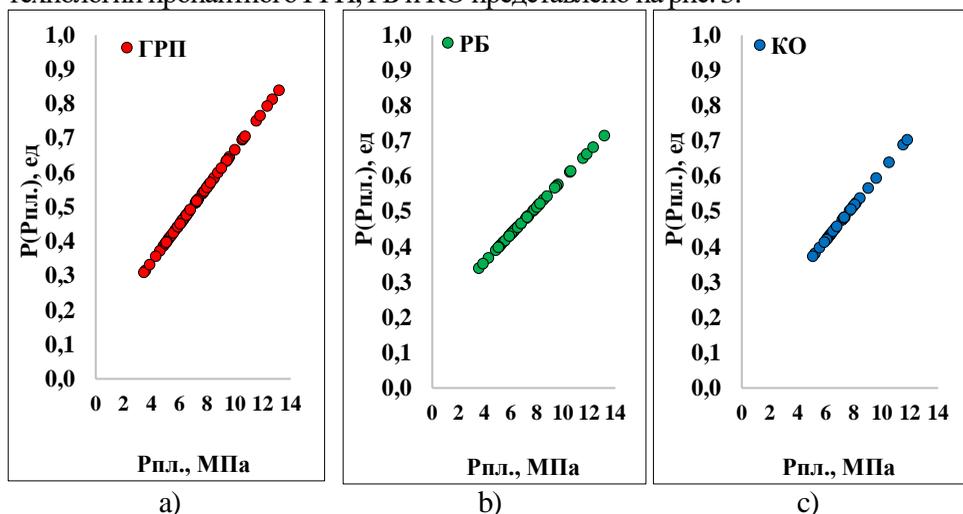


Рисунок 5 – Зависимости $P(P_{пл.})$ от $P_{пл.}$: а) пропантный ГРП; б) РБ; в) КО

Отмечено, что степень влияния пластового давления на эффективность технологий РБ, КО и пропантного ГРП сопоставима. Увеличение пластового давления на верейском объекте разработки пропорционально повышает вероятность достижения целевого прироста дебита нефти для каждой из рассматриваемых технологий. Потенциальные скважины-кандидаты с высокой эффективностью технологий характеризуются пластовым давлением в зоне дренирования более 7 МПа.

По аналогии с технологией пропантного ГРП выполнен расчет комплексных вероятностей $P_K^{РБ}$ и $P_K^{КО}$ для технологий РБ и КО, соответственно. Определены

сочетания вероятностей, произведение которых позволяет прогнозировать прирост дебита нефти с более высокой точностью. Максимальное влияние на эффективность технологий РБ и КО оказывают такие параметры, как пластовое давление, коэффициент продуктивности до ГТМ и данные гамма-каротажа, характеризующие радиоактивность горных пород. Установлено, что на эффективность технологий РБ и КО оказывают влияние одни и те же геолого-технологические параметры, их полный ранжированный перечень представлен в тексте диссертационной работы.

На следующем этапе исследования выполнены расчеты с применением комплексных вероятностей. Сопоставление прогнозных и фактических значений демонстрирует высокую сходимость результатов: коэффициенты корреляции по технологиям РБ и КО составляют 0,69-0,78 д.ед. Прогнозные модели и схемы прогнозов, позволяющие оценивать эффективность РБ и КО, в полном объеме представлены в диссертационной работе. Таким образом, для верейского объекта разработки построены комплексные вероятностно-статистические модели второго уровня, учитывающие 26 геолого-технологических параметров по технологиям пропантного ГРП, РБ и КО.

На основе комплексных вероятностно-статистических моделей второго уровня для рассматриваемых ГТМ разработана единая модель третьего уровня. Значения комплексных вероятностей для моделей, построенных для различных ГТМ, использованы для вычисления единой комплексной вероятности по формуле (3):

$$P_K^{ГТМ} = \frac{P_K^{ГРП} * P_K^{РБ} * P_K^{КО}}{P_K^{ГРП} * P_K^{РБ} * P_K^{КО} + \prod(1 - P_K^{ГРП})(1 - P_K^{РБ})(1 - P_K^{КО})}, \quad (3)$$

где $P_K^{ГРП}, P_K^{РБ}, P_K^{КО}$ – комплексные вероятности, полученные для оценки эффективности ГРП, РБ и КО, соответственно.

Применение разработанной единой модели позволило выделить участки для эффективного применения ГТМ (рис. 6). Анализ полученной карты позволил выполнить предварительный выбор скважин-кандидатов для реализации мероприятия с обязательным учетом критериев эффективности ГТМ (исключение из перечня краевых скважин, участков с отсутствием рентабельных остаточных извлекаемых запасов, с наличием негерметичностей колон и другим причинам).

На примере рис. 6 выделяется 69 % скважин с высокой вероятностью получения плановых технологических показателей. В оставшемся фонде (31 %), расположенном в юго-восточной части залежи, необходимо рассматривать другие технологии интенсификации притока, так как данный район характеризуется ухудшенными геолого-промысловыми характеристиками.

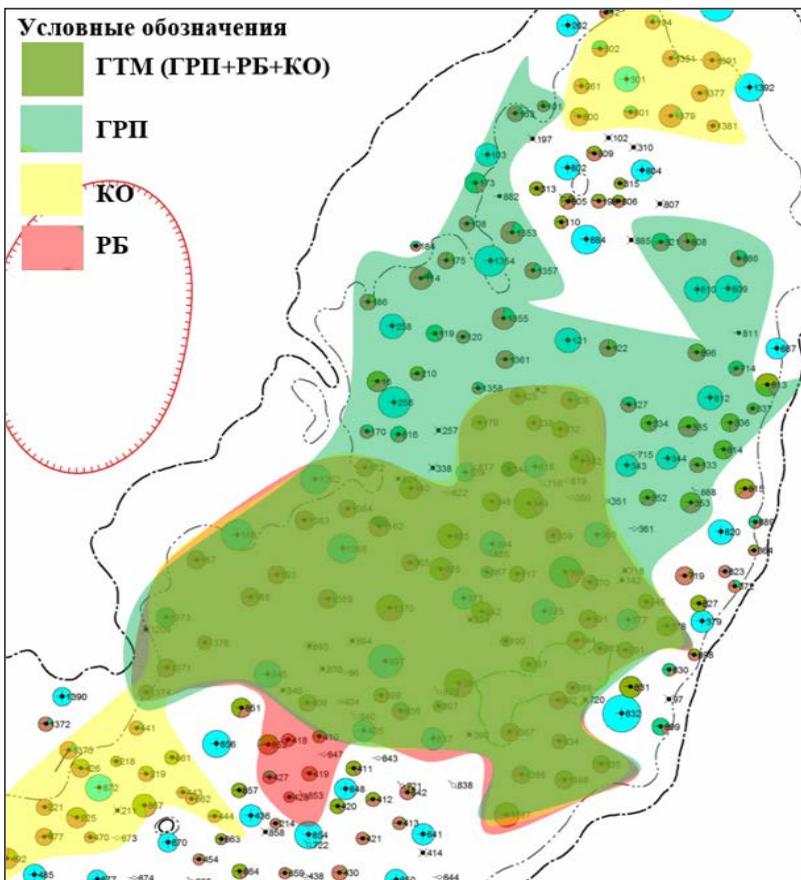


Рисунок 6 – Схема приоритетного выбора скважин-кандидатов для проведения ГТМ на верейском объекте

Заключение

По итогам исследовательской работы получены следующие выводы:

1. Выполнена оценка информативности исходных геолого-промысловых материалов, позволившая определить основные геолого-технологические и технические параметры, влияющие на эффективность пропантного ГРП, РБ и КО. Параметры исследованы посредством пошагового регрессионного анализа, по результатам которого определены статистически значимые величины прироста дебита нефти, позволившие разделить выборки данных на классы для дальнейшего изучения с привлечением вероятностно-статистического метода.

2. Разработаны индивидуальные вероятностно-статистические модели исходных параметров первого уровня для оценки эффективности проведения пропантного ГРП на тульском терригенном и пропантного ГРП, РБ и КО на верейском карбонатном объектах Батырбайского газонефтяного месторождения. Предложенные модели позволили сопоставить между собой параметры в едином безразмерном пространстве для оценки эффективности рассматриваемых технологий.

3. Разработаны комплексные вероятностно-статистические модели второго уровня, позволившие ранжировать геолого-технологические параметры по степени влияния на эффективность пропантного ГРП, РБ и КО и установить критерии их применения на верейском карбонатном объекте. На основе моделей построены прогнозные схемы приоритетного выбора скважин-кандидатов для проведения мероприятий, позволившие выявить зоны с индивидуальными сочетаниями геолого-технологических параметров, обеспечивающих различную эффективность воздействия на пласт. Полученные комплексные модели второго уровня использованы для разработки единой модели, позволившей построить комплексную прогнозную схему приоритетного выбора скважин-кандидатов в рассматриваемых условиях.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science:

1. Галкин, В. И. Исследование и анализ методов определения эффективности применения технологии пропантного гидроразрыва пласта / В. И. Галкин, А. Н. Колтырин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 11. – С. 50–58. (WEB OF SCIENCE, SCOPUS)

2. Галкин, В. И. Исследование вероятностных моделей для прогнозирования эффективности технологии пропантного гидравлического разрыва пласта / В. И. Галкин, А. Н. Колтырин // Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 650–659. (WEB OF SCIENCE, SCOPUS)

3. Галкин, В. И. Обоснование прогнозной величины прироста дебита нефти после применения ГТМ с помощью статистического метода / В. И. Галкин, А. Н. Колтырин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 2. – С. 81–86. (WEB OF SCIENCE, SCOPUS)

4. Галкин, В.И. Анализ использования пошаговой регрессионной модели прогноза эффективности пропантного ГРП для терригенного объекта Тл-Бб / В. И. Галкин, А. С. Казанцев, А. Н. Колтырин // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 5. – С. 40–46.

5. Галкин, В.И. Вероятностно-статистическая оценка использования различных показателей для определения эффективности применения пропантного ГРП (на примере терригенного объекта Тл-Бб и карбонатного объекта ВЗВ4) / В. И. Галкин, А. С. Казанцев, А. Н. Колтырин // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 2. – С. 26–33.

6. Галкин, В.И. Разработка методики прогнозирования технологических показателей работы скважин после применения геолого-технических мероприятий / В. И. Галкин, А. Н. Колтырин // Нефтепромысловое дело. – 2020. – Т. 619, № 7. – С. 18–28.

7. Галкин, В.И. Анализ использования статистических моделей прогноза эффективности пропантного ГРП для объектов с карбонатным и терригенным типом коллектора. / В. И. Галкин, С. А. Кондратьев, А. Н. Колтырин // Нефтепромысловое дело – 2017. – № 9. – С. 18–23.

8. Галкин, В.И. Разработка вероятностно-статистических моделей для оценки эффективности применения пропантного гидравлического разрыва пласта (на примере объекта Тл-Бб Батырбайского месторождения) / В. И. Галкин, И. Н. Пономарева, А. Н. Колтырин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 37–49.

9. Колтырин, А.Н. Опыт применения пропантного ГРП на терригенном коллекторе / А. Н. Колтырин // Геология геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 4. – С. 28–31.

10. Колтырин, А.Н. Повышение эффективности технологии ГРП на карбонатном типе коллектора / А. Н. Колтырин // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 10. – С. 28–30.

11. Колтырин, А.Н. Разработка методики и оценка эффективности работоспособности вероятностно-статистических моделей для прогнозирования прироста дебита нефти в скважинах после проведения гидроразрыва пласта / А. Н. Колтырин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, – 2022. – Т. 364, № 4. – С. 49–58.

12. Разработка статистической модели прогноза эффективности пропантного ГРП по геолого-технологическим показателям для верейского карбонатного

нефтегазоносного комплекса / В. И. Галкин, А. Н. Колтырин, А. С. Казанцев, С. А. Кондратьев, В. А. Жигалов // Нефтепромысловое дело. – 2017. – № 3. – С. 48–54.

Прочие издания:

13. Галкин, В. И. Вероятностная оценка влияния факторов на эффективность применения геолого-технических мероприятий / В. И. Галкин, А. Н. Колтырин // Булатовские чтения: Материалы IV Международной научно-практической конф. / Краснодар, 2020. – С. 110 – 119.

14. Галкин, В. И. Прогнозирование эффективности геолого-технических мероприятий / В. И. Галкин, А. Н. Колтырин // Булатовские чтения: Материалы III Международной научно-практической конф. / Краснодар, 2019. – С. 42 – 51.

15. Колтырин, А. Н. Расчет дополнительной добычи нефти от применения технологии ГРП / А. Н. Колтырин // Мировые научные исследования современности: возможности и перспективы развития: Материалы XVI международной научно-практической конф. / Ростов-на-Дону, 2022. – С. 99 – 108.

16. Колтырин, А. Н. Прогноз эффективности ГРП для карбонатного и терригенного коллектора / А. Н. Колтырин // Глобальные проблемы научной цивилизации, пути совершенствования: Материалы XV международной научно-практической конф. / Ставрополь, 2022. – С. 104 – 110.

17. Колтырин, А. Н. Прогнозирование эффективности гидравлического разрыва пласта с помощью статистического метода / А. Н. Колтырин // Дискуссии в области гуманитарных, естественно-научных аспектов современности: Материалы XXXV Всероссийской научно-практической конф. / Симферополь, 2022. – С. 292 – 295.

18. Колтырин, А. Н. Прогнозирование эффективности технологии ГРП для верейского карбонатного комплекса / А. Н. Колтырин // Цифровизация современной науки: стратегии, инновации: Материалы XXXVII Всероссийской научно-практической конф. / Симферополь, 2022. – С. 211 – 219.

19. Колтырин, А. Н. Исследование и анализ параметров, влияющих на эффективность технологии гидравлического разрыва пласта / А. Н. Колтырин // Геология в развивающемся мире: Сборник научных трудов по материалам XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / – Пермь, 2019. – С. 251 – 253.