

На правах рукописи



СОКОЛОВ ИЛЬЯ СЕРГЕЕВИЧ

**ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
НИЗКОПРОНИЦАЕМОГО КОЛЛЕКТОРА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ЗАЛЕЖЕЙ
С ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫМИ ЗАПАСАМИ**

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 **Грачев Сергей Иванович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Официальные оппоненты: **Пономарева Инна Николаевна**,
доктор технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор кафедры «Нефтегазовые технологии»;

Аржиловский Андрей Владимирович,
кандидат технических наук,
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», генеральный директор.

Ведущая организация Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана», г. Ханты-Мансийск.

Защита состоится «21» сентября 2023 года в 15 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 «20» июля 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пономарева Татьяна Георгиевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В соответствии с Энергетической стратегией Российской Федерации до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации 9 июня 2020 г. (далее - Стратегия), целью развития энергетики Российской Федерации является, с одной стороны максимальное содействие социально экономическому развитию страны, а с другой стороны, - укрепление и сохранение позиций в мировой энергетике, как минимум, на период до 2035 года.

В качестве проблемы и фактора риска нефтяной отрасли в Стратегии отмечено: увеличение себестоимости добычи вследствие преобладания трудноизвлекаемых запасов в составе запасов, вводимых в разработку, и высокой выработанности «зрелых» месторождений, что усложняет удержание достигнутых уровней добычи нефти и обуславливает необходимость применения дорогостоящих технологий добычи. Одной из поставленных задач является стабилизация объема добычи нефти в Западной Сибири и других традиционных регионах.

Принимая во внимание текущие тенденции нефтедобычи в Западной Сибири, а именно стагнацию добычи нефти и увеличение обводненности по крупным высокопродуктивным месторождениям. Решение задачи о стабилизации добычи нефти, обеспечивается за счет ввода в разработку низкопроницаемых объектов как на обустроенных, так и на новых месторождениях.

Разработка подобных объектов в период активного освоения крупных и уникальных месторождений Западной Сибири была нецелесообразна по причине наличия подготовленных к промышленному освоению активных запасов высокопродуктивных залежей, а также отсутствия соответствующих технических решений и средств и, как следствие, инвестиционной привлекательности.

В настоящее время ввод таких объектов в активную разработку стал возможен благодаря развитию технологий строительства горизонтальных

скважин с поинтервальным гидравлическим разрывом пласта (ГС с МГРП) и многозабойных скважин (МЗС), использование которых позволяет увеличить коэффициенты продуктивности и отбор углеводородов на пробуренную скважину.

На текущий момент на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» введено более 1281 ГС с МГРП и более 583 МЗС. Внедрение технологий начиналось с опытно-промышленных работ (ОПР). По мере отработки технологии и накопления опыта этими скважинами вводились в разработку достаточно крупные залежи и даже отдельные месторождения.

В практике проектирования разработки месторождений в качестве базы для обоснования системы размещения скважин, как правило, применяются типовые решения, изначально обоснованные для наклонно-направленных скважин. Это рядные системы: одно-, трех-, пятирядные и площадные: пяти-, семи-, девятиточечные (прямые и обращенные).

С учетом изученного на гидродинамической модели механизма выработки запасов, обосновываются геометрия размещения, плотность сетки скважин. Обеспечивается равномерность воздействия и возможность управления разработкой за счет трансформации либо усиления систем поддержания пластового давления, путем перехода на блочно-замкнутые, однорядные системы разработки и др.

Известно, что зачастую имеет место использование скважин сложного заканчивания в системах разработки, изначально разработанных для наклонно-направленных скважин. Соответственно, данные решения не всегда оказываются достаточно эффективными для поддержания пластового давления и создания условий для наиболее полного извлечения углеводородов из пласта.

Последующие мероприятия по управлению разработкой в случае с горизонтальными скважинами (ГС) крайне затруднены, а зачастую и невозможны, поскольку не были предусмотрены проектом изначально. В условиях масштабного применения скважин сложного заканчивания для них необходима подготовка специализированных решений по системам разработки.

Согласно действующим регламентирующим документам, выбор системы разработки ведется в проектом документе на разработку месторождения путем вариантных расчетов на гидродинамической модели (ГДМ). Обратим внимание, что данная модель является детерминированной и соответствует текущему представлению о начальном состоянии объекта проектирования.

Отметим, что процесс изучения залежи идет непрерывно с момента открытия и до ликвидации последней скважины, а поступающие данные описывают состояние залежи в каждый конкретный момент времени. Использование их для уточнения исходной геологической модели возможно при учете динамических процессов преобразования сложной геолого-промысловой системы.

Таким образом, для корректного обоснования системы разработки на ГДМ, кроме начального состояния, необходимо имитировать техногенные изменения, происходящие в процессе эксплуатации. Множественные ГРП, а также значительные репрессии на пласт при заводнении провоцируют изменение коллектора, в том числе и на значительном удалении по призабойной зоне скважин.

Тип коллектора из преимущественного порового преобразуется в порово-трещинный, а фильтрационные потоки далее определяются сетью техногенных каналов низкого фильтрационного сопротивления (НФС). Очевидно, что упомянутые каналы НФС следует учитывать и, более того, проектировать в качестве элемента системы разработки на этапе обоснования эксплуатационной сетки.

Резюмируя изложенное, можно сделать вывод, что при проектировании системы разработки низкопроницаемого объекта с применением множественных ГРП и Авто-ГРП существующая методика обоснования системы разработки на детерминированной ГДМ, требует корректировки в части учета динамических преобразований коллектора в процессе эксплуатации.

Степень разработанности темы исследования

Вопросу формирования систем разработки с использованием ГС с МГРП и МЗС посвящено множество работ как российских, так и зарубежных исследователей. Большой вклад в данную тематику внесли работы: А. М. Григоряна, В. Д. Лысенко, С. Н. Закирова, И. С. Закирова, А. Н. Янина, С. И. Грачева, М. В. Чертенкова, A. D. Hill, Ding Zhu, M. J. Economides.

Исследования, посвященные естественной и техногенной трещиноватости на терригенных пластах Западной Сибири, изучению условий их образования, учета напряженно-деформационного состояния пласта представлены в работах Р. И. Медведского, А. А. Севостьянова, А. В. Афанасьева, А. С. Трофимова. Стоит отметить, что в большей степени были исследованы коллектора средней и высокой проницаемости.

Данная работа построена на стыке вопросов обоснования систем разработки для ГС с МГРП, МЗС и использования техногенных преобразований коллектора в условиях низкой проницаемости, эффективная разработка которых в настоящее время, в значительной степени, становится возможной за счет комплексирования указанных подходов и технологических решений.

Таким образом, признавая значительный исследовательский вклад названных специалистов в изучение темы, заметим, что практические вопросы обоснования системы разработки с учетом изменения структуры терригенного коллектора в процессе разработки остаются нерешенными и требуют теоретического осмысления и отработки в промысловых условиях. Соответственно, тема диссертации актуальна.

Цель исследования

Повышение нефтеотдачи залежей низкопроницаемых коллекторов путем исследований сформированной системы каналов низкого фильтрационного сопротивления и обоснования их применения в качестве элемента технологии эксплуатации при заводнении.

Основные задачи исследования

1. Выполнить анализ результатов исследований и разработки низкопроницаемых объектов месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

2. Исследовать процесс техногенного преобразования низкопроницаемого порового коллектора в ходе интенсивной разработки с применением заводнения и множественных ГРП, выявить характерные закономерности.

3. Разработать методический подход к обоснованию системы разработки для низкопроницаемых коллекторов с учетом выявленных закономерностей.

4. Выполнить гидродинамическое моделирование вариантов организации системы разработки с использованием скважин различного заканчивания и целенаправленного преобразования коллектора.

5. Апробировать разработанный методический подход на низкопроницаемых объектах месторождений Западной Сибири.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются процессы динамического преобразования сложных геолого-промысловых систем в процессе разработки поровых коллекторов низкопроницаемых объектов месторождений Западной Сибири. Предметом исследования – динамическая система техногенно-сформированных каналов низкого фильтрационного сопротивления (трещин), определяющая преимущественное движение флюидопотоков.

Научная новизна выполненной работы

1. Разработан новый методический подход к обоснованию эффективной системы разработки низкопроницаемого терригенного коллектора с учетом динамической системы техногенно-сформированных каналов низкого фильтрационного сопротивления.

2. При проектировании разработки низкопроницаемого объекта Кочевского месторождения впервые обосновано применение техногенно-сформированных каналов низкого фильтрационного сопротивления в

качестве элементов технологии эксплуатации при заводнении.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Результаты исследования используются в качестве инструмента обоснования систем разработки низкопроницаемых объектов на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» при выполнении проектных документов на разработку.

2. Подготовленные методические решения используются для формирования геолого-технических мероприятий по повышению эффективности систем разработки низкопроницаемых залежей на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

3. Научно обоснованные мероприятия по корректировке системы разработки объекта ЮС1 Кочевского месторождения позволят увеличить добычу нефти на 1,53 млн. т, коэффициент извлечения нефти (КИН) – на 0,05 д. ед.

Методология и методы исследования

Методологической основой для проведения исследования послужили труды отечественных и зарубежных авторов в области проектирования систем разработки, применения ГС с МГРП, многозабойных скважин, а также практический опыт разработки залежей нефти с трудноизвлекаемыми запасами и применением горизонтальных и многозабойных скважин.

При проведении исследования и создании методики обоснования систем разработки использовался общенаучный подход и следующие методы научного познания: факторный, корреляционно-регрессионный анализ, анализ промыслово-геофизических и гидродинамических исследований, а также гидродинамическое моделирование залежей нефти с терригенными коллекторами.

Положения, выносимые на защиту

1. Методический подход к обоснованию системы разработки, учитывающий процессы техногенных изменений низкопроницаемого коллектора в процессе его интенсивной эксплуатации с применением заводнения.

2. Методические решения по корректировке известной системы разработки объекта ЮС₁ Кочевского месторождения с учетом динамической системы техногенно-сформированных каналов низкого фильтрационного сопротивления, которые предусматривают:

- увеличение протяженности горизонтальных скважин до 800 метров;
- увеличение количества стадий ГРП до 10;
- организация рядной системы разработки;
- поддержание режима «Авто-ГРП» в нагнетательных скважинах;
- сближение зон закачки и отбора до 400 метров.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов исследований подтверждается согласованностью аналитических выкладок с результатами гидродинамического моделирования и фактически достигнутыми показателями внедрения рекомендаций на эксплуатационных объектах месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», а также публикациями в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Научные положения, представленные в диссертационной работе, прошли апробацию Центральной комиссии по согласованию технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья (в т. ч. Западно-Сибирской секции), а также при подготовке и обосновании предложений по эксплуатационному бурению на производственных совещаниях в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

Апробация результатов исследования

Основные положения работы, а также ее промежуточные и итоговые результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Международной научно-практической конференции «Эффективные технологии разработки залежей углеводородов» (Гомель – Речица, республика Беларусь, 2013);

-Научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири» (Ханты-Мансийск, 2015, 2017, 2019, 2022);

- Технической конференции SPE «ГРП в России: опыт и перспективы» (Москва, 2016);

-Международной научно-практической конференции «Интегрированное научное сопровождение нефтегазовых активов: опыт, инновации, перспективы» (Пермь, 2019);

- Международной научно-практической конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность – 2021» (Москва, 2021);

-Национальной научно-практической конференции с международным участием «Нефть и газ: технологии и инновации» (Тюмень 2021);

-Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ» (Москва 2021, 2022);

- Научно-практической конференции «Трудноизвлекаемые запасы – настоящее и будущее» им. Н. Н. Лисовского (Москва 2021);

Публикации

Всего по теме опубликовано 14 работ, в т. ч. 5 – в журналах рекомендованных ВАК РФ, 3 – в журналах индексируемых в Scopus. Ряд работ напечатаны в сборниках трудов отраслевых конференций.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Область исследования соответствует паспорту специальности 2.8.4 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, в частности, п. 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»; п. 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 изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 19 таблиц, 66 рисунков и два приложения. Состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников, включающего 47 наименований.

Автор глубоко признателен Мулявину С.Ф, Леонтьеву С.А, Хайруллину А.А за методическую помощь, ценные советы и внимание во время подготовки данной работы. Особую благодарность автор выражает научному руководителю, доктору технических наук, профессору Грачеву С.И.

Искренняя благодарность адресуется коллегам из ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» разделяющим интерес автора в исследовании поставленных задач, а также коллегам из ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» за практические советы и обеспечение внедрения результатов данной работы.

Личный вклад

Изложенные в работе научно-технические результаты, составляющие основу диссертационной работы, получены при личном участии автора. Выполнен сбор и анализ исходной информации, проработаны литературные источники по тематике работы, изучен фактический материал по вопросу динамического преобразования низкопроницаемого коллектора при организации заводнения. Автором разработан методический подход по обоснованию системы разработки, сформированы рекомендации по повышению нефтеотдачи объектов исследования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность; сформулирована цель исследования; определены основные задачи, научная новизна, положения, выносимые на защиту; приведены сведения о практической значимости диссертационной работы.

В первой главе выполнен критический анализ реализуемых систем разработки на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». Приведена оценка состояния природно-техногенной системы, определяющей разработку нефтяных залежей. Освещены результаты эксплуатации горизонтальных скважин и многозабойных скважин. На примере отдельных объектов разработки показаны проблемные области реализуемых систем.

Большинство крупных и уникальных месторождений, разрабатываемых ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», находятся на 3-ей и 4-ой стадиях разработки. Наибольшей выработке подвержены высокопродуктивные объекты, разбуренные регулярными сетками наклонно-направленных скважин и обеспечившие в свое время максимальные уровни добычи по этим месторождениям.

Поддержание и наращивание добычи в настоящий период обеспечивается, в большей степени, вводом, низкопроницаемых объектов, характеризующихся сложной структурой запасов. На первый план выходит добыча из объектов ачимовских и юрских отложений, разработка которых ведется с применением заводнения и массовых гидравлических разрывов пласта (ГРП).

Пластовая энергетика поддерживается закачкой воды с забойными давлениями выше давления ГРП, что приводит к образованию каналов низкого фильтрационного сопротивления (НФС) и зон трещиноватости. Соответственно, происходит изменение начальных свойств и типа коллектора. Пласт преимущественно порового типа преобразуется в порово-трещинный.

Изменение типа коллектора позволяет увеличить дебиты скважин, что должно способствовать экономической привлекательности разработки подобных объектов. Однако, образуемая при этом, дополнительная к природной, техногенная дифференциация пласта по проницаемости может провоцировать опережающее обводнение и, как следствие, снижение КИН.

Рассмотрим выборку объектов ачимовских и юрских отложений месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» (таблица 1). Текущая обводненность продукции существенно опережает выработку запасов в условиях реализации плотных проектных сеток, использования современных технологий заканчивания и методов интенсификации добычи и повышения нефтеотдачи пластов.

Таблица 1 – Показатели выработки запасов по объектам Ач.т. и Ю₁ месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»

Месторождение	Тевлинско-Русскинское		Грибное	Кочевское	Урьевское		Малоключевое	Северо-Покачевское
	ЮС1	Ач.т			ЮС1	ЮС1		
Стадия разработки	3	3	4	1	3	4	3	3
Геологические запасы	97197	33344	28738	25614	135092	15695	6103	71180
Извлекаемые запасы	27698	9223	12329	8453	45538	2415	1818	25282
Проектный КИН	0,285	0,277	0,429	0,330	0,337	0,154	0,298	0,355
Годовая добыча нефти	576,1	253,1	86,4	207,4	343,5	34,4	28,9	226,4
Годовая добыча жидкости	2852,7	687,8	1735,8	352,5	1336,0	122,6	72,1	1192,2
Закачка воды	3965,5	795,4	1894,2	471,7	2542,8	190,8	138,1	2190,5
Среднегодовая обводненность	79,8	63,2	95,0	41,2	74,3	71,9	59,9	81,0
Действующий фонд	480	98	223	136	725	71	64	232
добывающий	298	60	118	97	387	49	39	110
нагнетательный	182	38	105	39	338	22	25	122
соотношение доб/нагн текущее	1,6	1,6	1,1	2,5	1,1	2,2	1,6	0,9
Темп отбора от НИЗ (АВ1)	2,1	2,7	0,7	2,5	0,8	1,4	1,6	0,9
Темп отбора от ТИЗ (АВ1)	5,0	3,5	3,2	2,6	1,3	3,5	3,3	1,5
Накопленная добыча нефти	16756	2148	9735	830	19022	1471	970	10593
Накопленная добыча жидкости	39058	4965	26667	1481	39442	4012	1776	41041
Накопленная закачка воды	53184	5875	32208	2012	72467	5991	3335	51661
Накопленные ВНФ	1,3	1,3	1,7	0,8	1,1	1,7	0,8	2,9
Текущая компенсация	126	101	107	103	171	139	162	170
Накопленная компенсация	111	101	106	105	152	129	151	113
Отбор от НИЗ	60,5	23,3	79,0	9,8	41,8	60,9	53,4	41,9
Текущий КИН	0,172	0,064	0,339	0,032	0,141	0,094	0,159	0,149

Одной из ключевых причин такого превышения, по мнению автора, является недостаточный учет при проектировании техногенно-сформированного трещинно-порового типа коллектора, когда

преимущественное движение пластовых флюидов осуществляется по трещинам, содержащим незначительную долю подвижных запасов нефти.

Поэтому извлекаемые запасы нефти, корректно обоснованные на детерминированной модели начального состояния геологического объекта, могут быть отобраны с большей долей попутной воды, либо не отобраны вовсе по причине снижения коэффициента охвата пластов заводнением в результате техногенных изменений коллектора в процессе интенсивной эксплуатации.

Для постановки цели и задач диссертационной работы исследованы результаты реализации систем разработки и применения ГС с МГРП на низкопроницаемых объектах месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». Определена проблематика, сделаны выводы о необходимости повышения детальности моделирования и использования эффектов преобразования коллектора при проектировании.

Во второй главе, с использованием геофизических и гидродинамических методов, результатов трассерных исследований, а также геолого-промыслового анализа, исследованы техногенные изменения, происходящие в процессе активной разработки низкопроницаемых коллекторов с применением заводнения и множественных ГРП.

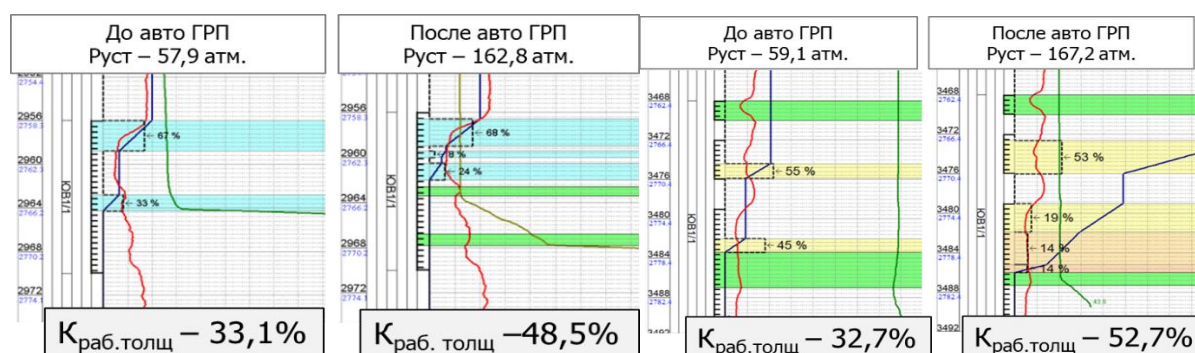
Для низкопроницаемых терригенных коллекторов Западной Сибири характерен поровый тип коллектора с элементами природной трещиноватости. Как уже отмечалось, при интенсивной разработке коллектора имеет место переход его к смешанному типу. Фильтрация в дальнейшем определяется именно техногенной, трещинной составляющей и характеризуется нелинейными эффектами.

В качестве доказательной базы факта преобразования коллектора в процессе разработки использованы:

1. промыслово-геофизические исследования скважин низкопроницаемых объектов Ватьеганского месторождения и Шаимского региона при различных режимах закачки;

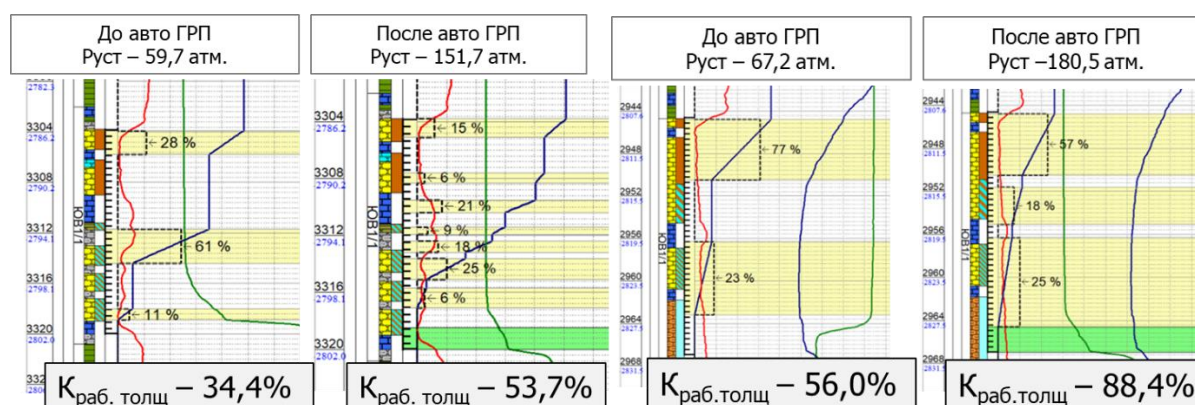
2. анализ гидродинамических исследований скважин на добывающих и нагнетательных скважинах объекта ЮС₁ Кочевского месторождения;
3. трассерные исследования, проведенные на низкопроницаемых объектах, находящихся в активной разработке (Урьевское ЮВ₁, Тевлинско-Русскинское ЮС₁, Северо-Покачевское ЮВ₁);
4. геолого-промысловый анализ динамики обводнения и выработки запасов на низкопроницаемых объектах (Урьевское ЮВ₁, Северо-Покачевское ЮВ₁).

Обоснование увеличения коэффициента работающей толщины при разработке низкопроницаемых поровых коллекторов в режиме «Авто-ГРП» проведено с использованием промыслово-геофизических исследований наклонно-направленных и горизонтальных скважин (рисунки 1-3).



■ Развит «верх» пласта

◆ Развит «низ» пласта



● «Расчлененный» пласт

▲ «Монолитный» пласт

Рисунок 1 – Примеры специальных промыслово-геофизических исследований при забойных давлениях ниже и выше давления разрыва породы (режим «Авто-ГРП») в различных геологических условиях

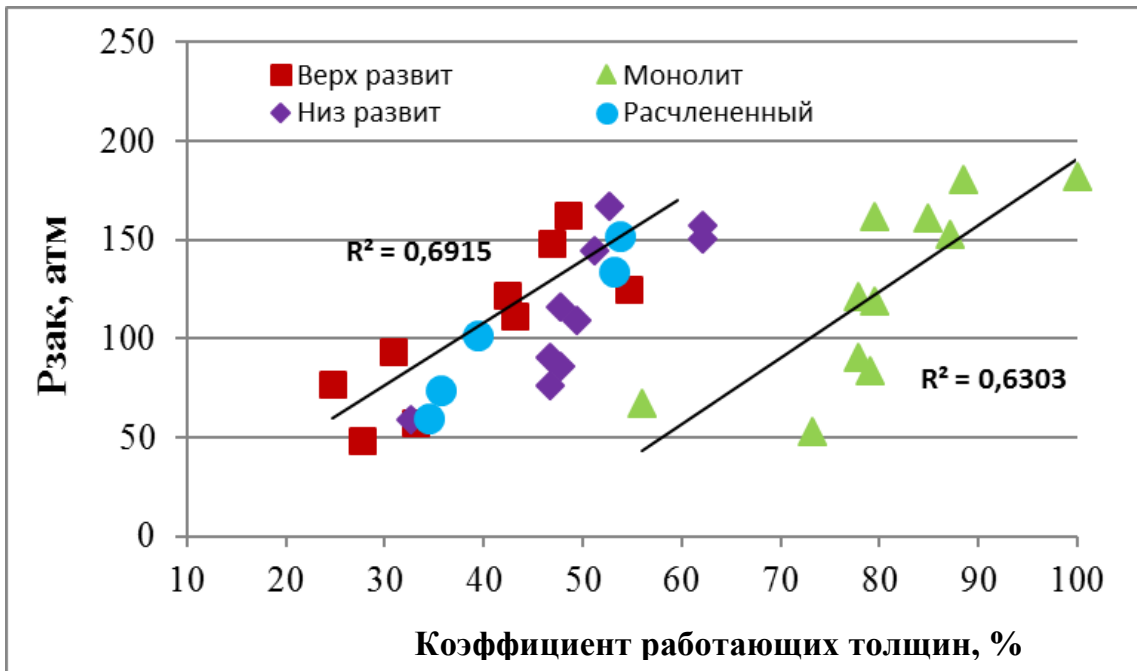


Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов работающих толщин по данным ПГИ от давления нагнетания для скважин объекта ЮВ₁ Ватьеганского месторождения

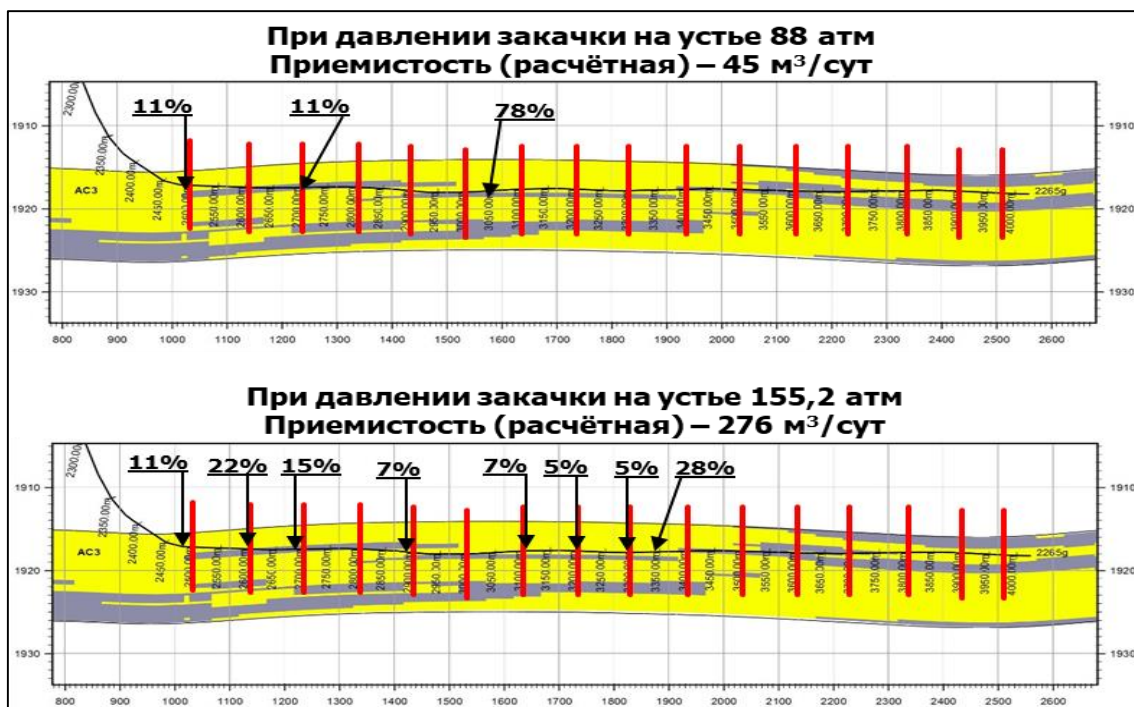


Рисунок 3 – Промыслово-геофизические исследования горизонтальной нагнетательной скважины с МГРП месторождения им. В. Н. Виноградова

Таким образом, обобщение комплекса исследований дает основание делать вывод о преобразовании коллектора в процессе разработки с увеличением коэффициентов работающих толщин и, соответственно, коэффициентов охвата в режиме «Авто-ГРП». Установленные закономерности использованы при гидродинамическом моделировании.

Важно отметить, что вывод об эффективности режима «Авто-ГРП» при разработке низкопроницаемых коллекторов не является принципиально новым. Схожие выводы приведены в работах В. Д. Лысенко, А. Н. Янина, М. М. Хасанова и других авторов. Новизна заключается в методике использования данных преобразований для повышения эффективности разработки объектов исследования.

В третьей главе выполнено гидродинамическое моделирование выбранного объекта исследования. Предложен методический подход, предусматривающий использование системы техногенно-сформированных каналов НФС (трещин) в качестве элемента организованной системы разработки (рисунок 4).

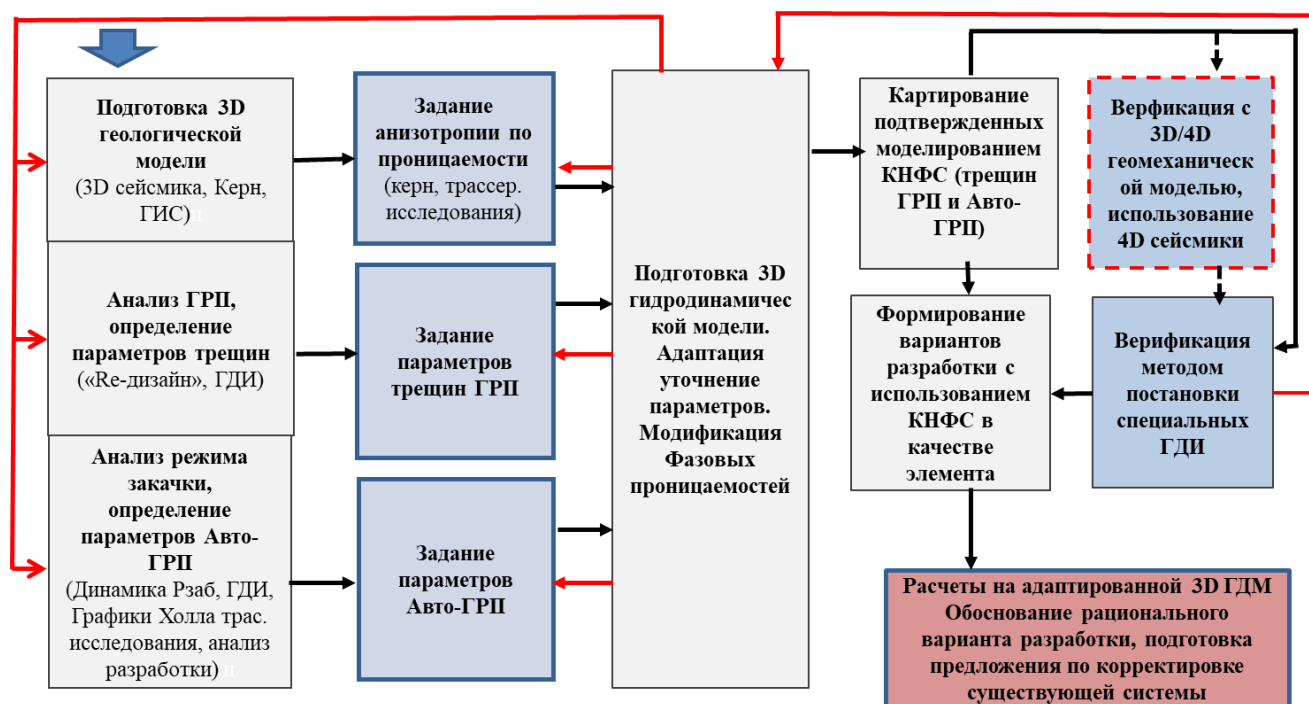


Рисунок 4 – Блок-схема разработанного методического подхода обоснования системы разработки низкопроницаемого коллектора

Для реализации методического подхода использована 3D гидродинамическая модель объекта ЮС₁ Кочевского месторождения. В основу трехмерной модели была принята исходная геологическая модель порового пласта, фактор техногенных преобразования коллектора и формированием каналов НФС реализован при адаптации гидродинамической модели на историю разработки.

На первом этапе на всех наклонно-направленных и горизонтальных скважинах с использованием «ключевого слова» задаются характеристики трещин ГРП, установленные по результатам комплекса геофизических, гидродинамических исследований, а также по данным Ре-дизайнов ГРП, задается характеристика затухания эффекта ГРП по добывающим скважинам.

Для моделирования эффекта «Авто-ГРП» на нагнетательных скважинах необходимо имитировать обратную ситуацию, когда при увеличении пластового давления (Рпл) протяженность (Lтр) и проницаемость (Кпр) трещин увеличиваются. Данный эффект воспроизводится с применением «ключевых слов» программного обеспечения для гидродинамического моделирования. Разработанная для этого зависимость $K_{пр}=f(P_{пл})$ графически показана ниже (рисунок 5).

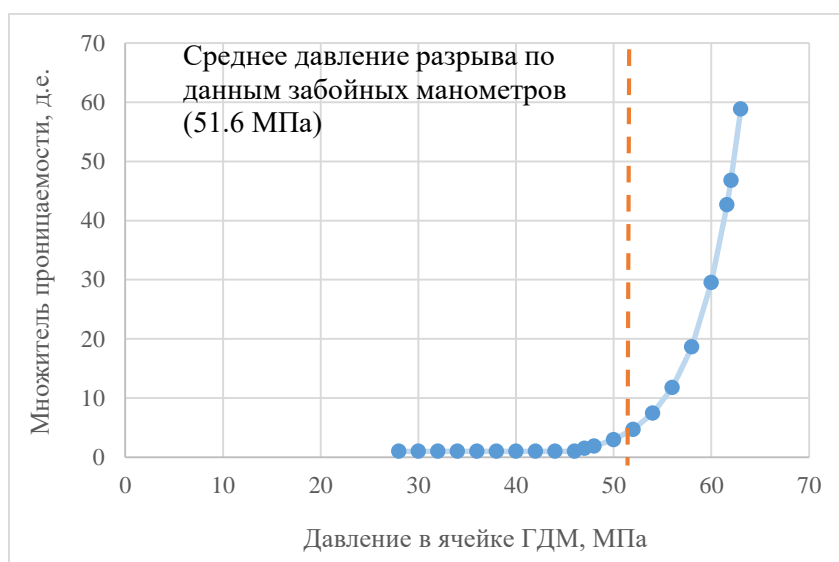


Рисунок 5 – Зависимость проницаемости в ячейке ГДМ от пластового давления $dK_{пр}=f(P_{пл})$, используемая для моделирования эффекта «Авто-ГРП»

Далее, на подготовленной для работы 3D гидродинамической модели выполняются многовариантные расчеты. Ключевым фактором является использование системы техногенных трещин в качестве элемента системы разработки, что позволяет обеспечить максимальный охват по площади и разрезу при минимизации фонда эксплуатационных скважин.

Для верификации полученных результатов сформированные в процессе 3D гидродинамического моделирования представления о развитии каналов НФС в поровом пространстве могут быть сопоставлены с данными о напряженном состоянии породы по данным 3D геомеханической модели, в которой учтена динамика изменения пластового давления, температуры и насыщенности, по данным гидродинамических расчетов.

Подтвердить корректность распределения каналов НФС в поровом пространстве также возможно по результатам сейсмических работ (технология 4D), посредством которой можно получить распределение параметров модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Однако такие работы в российской, и зарубежной практике разработки месторождений на суше, крайне редки.

Поэтому верификацию результатов предлагается осуществить методом постановки специальных гидродинамических исследований, которые позволят сравнить проектные и фактические протяженности трещин ГРП и «Авто-ГРП» на добывающих и нагнетательных скважинах и сделать вывод о корректности гидродинамического моделирования результатов преобразования коллектора.

В четвертой главе выполнена апробация предложенного методического подхода на примере объекта ЮС₁ Кочевского месторождения.

На основании аналитической проработки и текущего опыта реализации систем разработки, а также с использованием разработанного методического подхода выполнены расчеты вариантов корректировки

известной системы разработки низкопроницаемого коллектора объекта исследования.

В качестве расчетных вариантов мероприятий по повышению эффективности, с учетом имеющихся и проектируемых каналов НФС, было рассмотрено:

- поддержание режима «Авто-ГРП» на нагнетательных скважинах;
- увеличение протяженности горизонтальных скважин;
- увеличение количества стадий ГРП;
- сближение зон закачки и отбора;
- применение горизонтальных нагнетательных скважин;
- формирование однорядной системы ППД.

Блок-схема формирования вариантов разработки объекта ЮС₁ Кочевского месторождения приведена на рисунке 6.

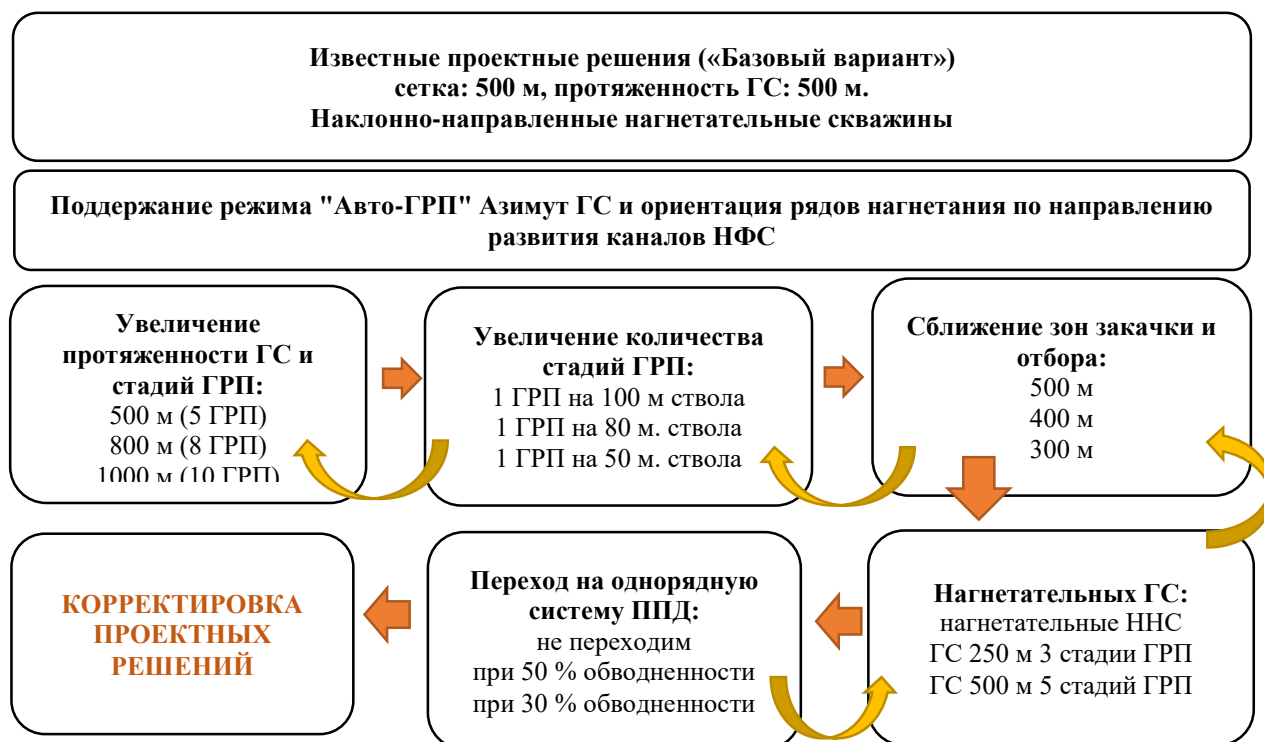


Рисунок 6 – Блок-схема расчетных вариантов организации системы разработки объекта ЮС₁ Кочевского месторождения

Таким образом, мероприятия по корректировке системы разработки рассматривались последовательно. На первом этапе оценена эффективность

реализации режима «Авто-ГРП». Для этого на адаптированной геолого-гидродинамической модели вариант 1 просчитан с имитацией поддержания режима «Авто-ГРП» и без него.

По результатам гидродинамических расчетов вариант с «Авто-ГРП» подтвердил ранее обоснованную аналитическим путем эффективность. Прирост накопленной добычи нефти по варианту составил 314 тыс. т. или 22 % от варианта без «Авто-ГРП». Далее были проработаны варианты различных протяженностей горизонтальных стволов скважин, количество стадий ГРП на скважины и т. д. В целях снижения временных затрат расчеты выполнены на секторной модели, вырезанной из адаптированной гидродинамической. Размещение скважин по вариантам приведено на рисунке 7.

По результатам серии технико-экономических расчетов для повышения эффективности системы разработки предлагаются следующие мероприятия:

- поддержание режима «Авто-ГРП» в нагнетательных скважинах;
- увеличение протяженности горизонтальных стволов до 800 метров;
- увеличение количества стадий ГРП до 10 ед.;
- сближение зон закачки и отбора до 400 метров;
- организация рядной системы разработки.

Реализация данных предложений позволит увеличить технологическую и экономическую эффективность разработки данного объекта. Расчетное увеличение добычи нефти составит 1,53 млн. т, коэффициент охвата и КИН увеличиваются на 0,05 ед. Чистый дисконтированный доход пользователя недр, при ставке дисконта 10 %, увеличивается на 322 млн руб., государства на 2,1 млрд руб.

С точки зрения технологической эффективности, также представляет интерес вариант с горизонтальными нагнетательными скважинами с МГРП протяженностью 200 м с тремя стадиями ГРП. Данную технологию рекомендуется отработать на объекте в формате опытно-промышленных работ на пилотном участке.

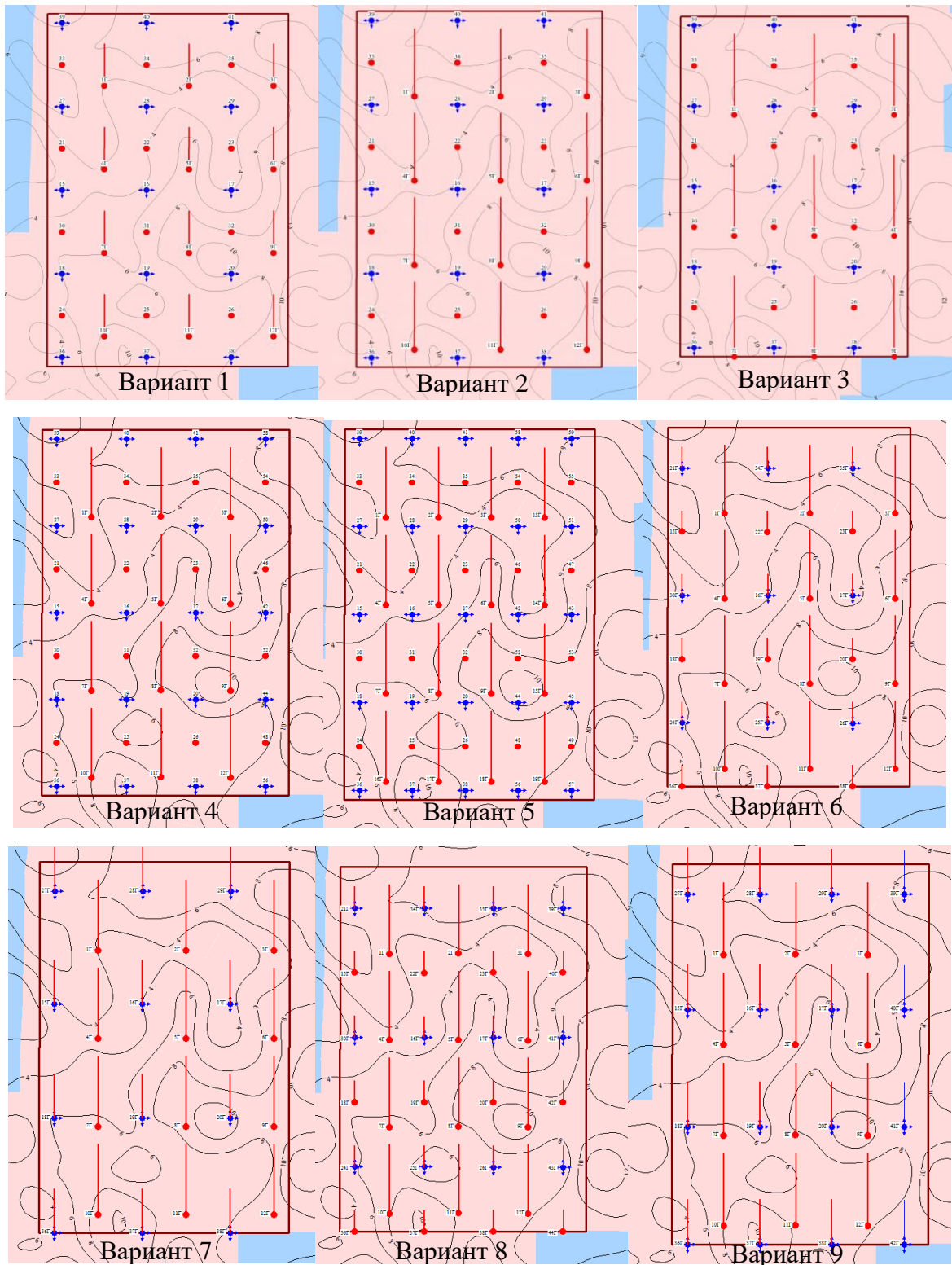


Рисунок 7 – Размещение скважин по вариантам организации системы разработки объекта ЮС₁ Кочевского месторождения

На сегодняшний день увеличение протяженности горизонтальных скважин до 800 метров уже находится на стадии реализации. Комплексные

предложения по корректировке системы разработки, расчетных коэффициентов охвата и КИН планируются к представлению в ЦКР в рамках проектно-технологического документа по Кочевскому месторождению.

Рассмотренные в качестве объектов исследования объекты (ЮС₁ и АВ₁³), являются региональными и имеют обширное распространение на территории деятельности ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». В ближайшей перспективе планируется распространить отработанные подходы на объекты ЮС₁ Северо-Кочевского и Тевлинско-Русскинского месторождений.

Дальнейшее тиражирование метода возможно на Ачимовские и Тюменские отложения, разработка которых, помимо низкой проницаемости, осложнена, как правило, значительной расчлененностью продуктивного разреза, невыдержанностью и крайней изменчивостью коллекторов по латерали. В данных условиях применение метода может дать еще более значимые результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено изменение механизма выработки запасов и опережающее обводнение добывающих скважин по каналам низкого фильтрационного сопротивления в результате техногенных изменений (нарушений) структуры коллектора. В ряде случаев, первоначально запроектированные системы размещения скважин трансформируются в соответствии предполагаемым распределением и фильтрационной значимостью нарушений в объеме залежи. Существующие гипотезы о фильтрационных параметрах нарушений и зон, примыкающих к ним, носят неявный характер.

2. Выявлены закономерности преобразования порового коллектора в порово-трещинный и изменения их фильтрационных параметров в процессе интенсивной разработки низкопроницаемых пластов с применением заводнения и множественных ГРП.

3. Разработан методический подход к обоснованию системы разработки с использованием результатов исследования динамического преобразования коллектора.

4. На основании разработанного методического подхода выполнено гидродинамическое моделирование вариантов разработки низкопроницаемого объекта ЮС₁ Кочевского месторождения, сформированы комплексные геолого-технические мероприятия.

5. Методические решения по корректировке системы разработки объекта ЮС₁ Кочевского месторождения внедрены в производство. Расчетное увеличение добычи нефти за прогнозный период составит 1,53 млн. т. Прирост нефтеотдачи составит 17 %.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Соколов, И. С. Опыт разработки низкопроницаемого пласта горизонтальными скважинами с многостадийным гидроразрывом / И. С. Соколов, М. С. Павлов, О. Н. Босых. - Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. - 2020. - № 8. - С. 10-16.

2. Соколов, И. С. Оценка эффективности реализованной системы разработки на объектах с нефтяной оторочкой нефтегазоконденсатного месторождения / С. В. Арефьев, И. С. Соколов, С. А. Фуфаев, Д. А. Розбаев. - Текст : непосредственный // Бурение и нефть. - 2022. - № 7. - С. 42-48.

В журналах, индексируемых в международной реферативной базе Scopus:

3. Соколов, И. С. Развитие технологий заканчивания скважин с горизонтальным и многозабойным окончаниями в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / М. М. Фаттахов, Д. Л. Бакиров, А. Ю. Сенцов, И. С. Соколов, О. А. Ярмоленко, В. Н. Ковалев. - Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. - 2016. - № 8. - С. 25-27.

4. Соколов, И. С. Результаты применения систем разработки с

использованием многозабойных скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / И. С. Соколов, А. А. Кокорин, В. Г. Крамар, А. В. Москальчук. - Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. - 2019. - № 8. - С. 44-47.

5. Соколов, И. С. Опыт применения горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом в условиях низкопроницаемого пласта / С. В. Арефьев, И. С. Соколов, М. С. Павлов, О. Н. Босых, Е. Д. Городилова. - Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. - 2022. - № 9. - С. 90-95.

Публикации в прочих научных изданиях:

6. Соколов, И. С. Обобщение опыта эксплуатации объекта ЮВ1 и ЮС1 месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / Л. Д. Рачева, С. В. Левагин, И. С. Соколов, В. Н. Мельников. - Текст : непосредственный // Сборник трудов XVI научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа - Югры», том 1. - Ханты-Мансийск, 2013. - С. 343-351.

7. Соколов, И. С. Повышение эффективности поддержания пластового давления на основе опережающего заводнения / Л. Д. Рачева, И. С. Соколов, Н. В. Шупик. - Текст : непосредственный // Сборник тезисов IV международного научного симпозиума «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи» / ОАО «ВНИИнефть», том 2. - Москва, 2013. - С. 155-159.

8. Соколов, И. С. Анализ эффективности системы заводнения на объекте Ачимовская толща Поточного месторождения с применением метода материального баланса / О. В. Стародубцев, И. С. Соколов. - Текст : непосредственный // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Геология нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации)» / ТИУ, том 1. - Тюмень, 2014. - С. 49-55.

10. Соколов, И. С. Обобщение проектных решений и фактического опыта внедрения систем разработки с использованием скважин сложного заканчивания на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / И. С.

Соколов, А. А. Кокорин, В. Г. Крамар, А. В. Москальчук. - Текст : непосредственный // Сборник трудов XXII научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири». - Ханты-Мансийск, 2019. - С. 66-76.

11. Соколов, И. С. Обобщение проектных решений и фактического опыта внедрения систем разработки с использованием скважин сложного заканчивания на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь / И. С. Соколов, А. А. Кокорин, В. Г. Крамар, А. В. Москальчук. - Текст : непосредственный // Сборник докладов международной научно-практической конференции «Интегрированное научное сопровождение нефтегазовых активов: опыт, инновации, перспективы». - Пермь, 2019. - С. 189-192.

12. Соколов, И. С. Перспективные проектные решения для разработки трудноизвлекаемых запасов нефти на месторождениях Западной Сибири / И. С. Соколов, А. А. Задворнов. - Текст : непосредственный // Материалы национальной научно-практической конференции «Нефть и газ: технологии и инновации» / ТИУ. - Тюмень, 2021. - С. 75-78.

13. Соколов, И. С. Эволюция системы разработки нефтяного месторождения на примере объекта БС10 Южно-Ягунского месторождения / И. С. Соколов, Р. Р. Юнусов, М. С. Павлов, О. Н. Босых. - Текст : непосредственный // Материалы международной научно-практической конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность 2021» / МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2021. - С. 537-539.

14. Соколов, И. С. Перспективные проектные решения для разработки трудноизвлекаемых запасов нефти месторождений Западной Сибири / И. С. Соколов, Р. Р. Юнусов, М. С. Павлов, О. Н. Босых. - Текст : непосредственный // Геология и недропользование. - 2022. - № 1. - С.72-78.

Подписано в печать 11.07.2023. Формат 60x90 1/16. Усл. авт. л. 1,05.
Тираж 100 экз. Заказ № 2681.

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.