



II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ  
ГАЗОНЕФТЕОТДАЧИ И ПРОВЕДЕНИЯ ГРП  
НА ОБЪЕКТАХ НЕТРАДИЦИОННЫХ  
И ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ РЕСУРСОВ

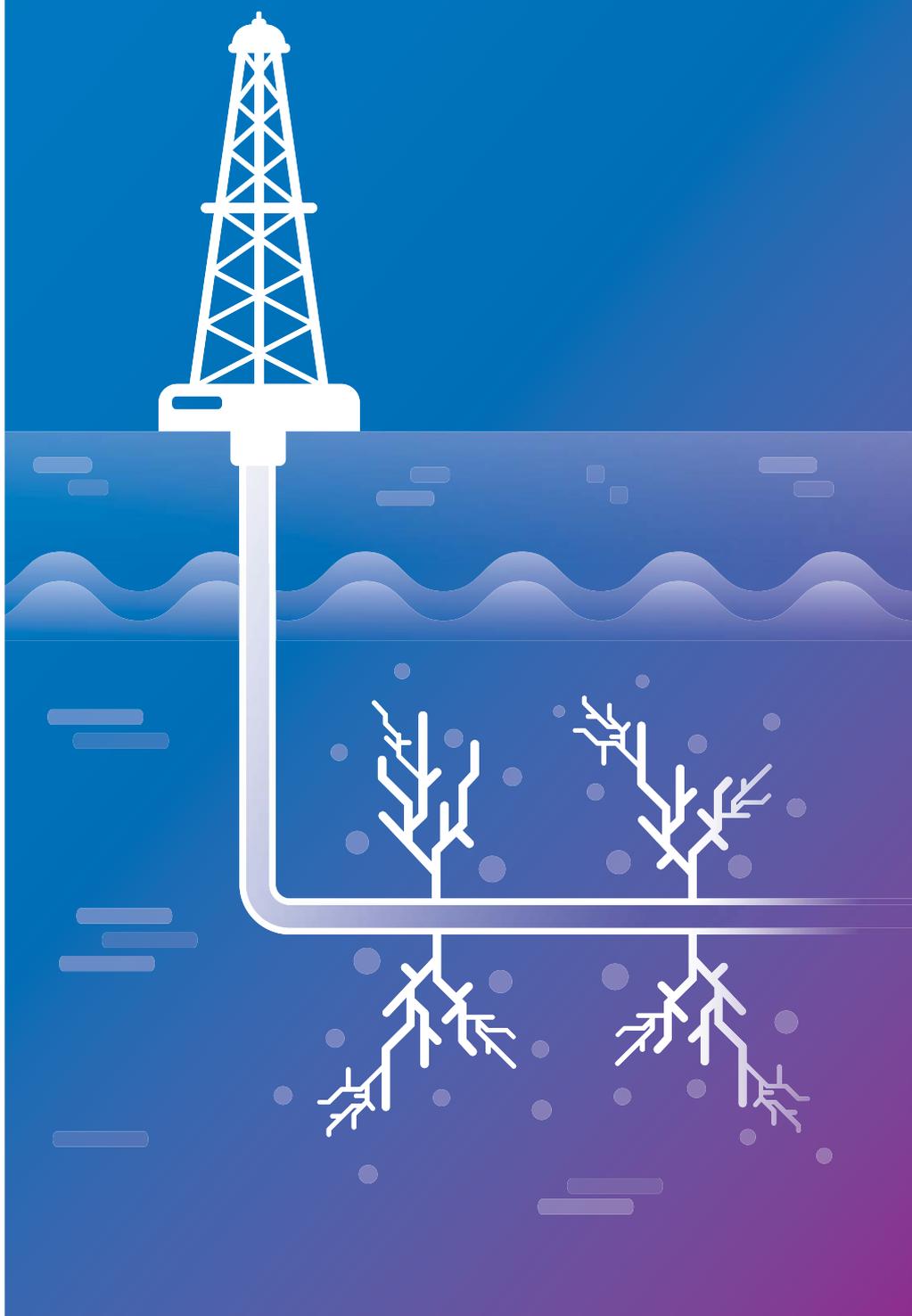
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 18–21 ФЕВРАЛЯ 2025



При поддержке:



**ТЕЗИСЫ**



Публичное акционерное общество «Газпром»  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Газпром ВНИИГАЗ»

II Международная научно-техническая конференция

**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ  
В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ГАЗОНЕФТЕОТДАЧИ  
И ПРОВЕДЕНИЯ ГРП НА ОБЪЕКТАХ НЕТРАДИЦИОННЫХ  
И ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ РЕСУРСОВ  
(ГРП-2025)**

18–21 февраля 2025 г.

**Тезисы докладов**

**Отечественные технологии и инновации в области повышения газонефтеотдачи и проведения ГРП на объектах нетрадиционных и трудноизвлекаемых ресурсов:** тезисы докладов. – Москва: Газпром ВНИИГАЗ, 2025. – 64 с.

Настоящий сборник составлен по материалам научно-технической конференции, проходившей в Санкт-Петербурге 18–21 февраля 2025 г.  
Тезисы представлены в алфавитном порядке.

## **Подходы к выбору типа заканчивания эксплуатационных скважин Ковыктинского газоконденсатного месторождения**

*Д.В. Акинин, Р.Р. Хасанов  
(ООО «Газпром добыча Иркутск»)*

Ковыктинское газоконденсатное месторождение (далее – Ковыктинское М) – одно из крупнейших газовых месторождений в Восточной Сибири. Месторождение было открыто в 1987 г., а его разработка началась в начале 2000-х гг. Месторождение считается уникальным по объему запасов и отличается высокой сложностью геологического строения.

Особенностями Ковыктинского ГКМ являются: осложненный рельеф местности, низкая плотность разведочного бурения, низкая проницаемость, АНПД, высокоминерализованная пластовая вода, низкая плотность запасов, уникальность состава газа, запасы гидроминерального сырья.

Наработанный опыт за период разработки Ковыктинского ГКМ показал имеющиеся риски в лице локационной приближенности водоносных горизонтов, коллекторов с ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами. Имеющиеся сложности стали толчком для внедрения проектных решений в типы заканчивания скважин. На 2023 г. проектными решениями при разработке Ковыктинского ГКМ являлись ГС (муфты ГРП 4-5 стадий), МЗС (ОС – 800 м, БС 600–800 м). На сегодняшний день успешно реализовано бурение многозабойных скважин с двумя, четырьмя и шестью БС.

В большинстве случаев риск наличия подошвенных вод становился основным аргументом выбора многозабойного окончания. Для определения типа заканчивания использовались наработанные алгоритмы.

На 01.01.2025 на территории Ковыктинского ГКМ проведено суммарно 687 технологических операций ГРП на 137 скважинах (30 % от запланированного объема).

Адаптирован в работе алгоритм цикла ГРП. Оптимизирована рецептура жидкости, а также план закачки.

Эффективность ГРП в условиях Ковыктинского ГКМ доказала себя в части технологии МГРП (ГС 800 м + 5 стадий ГРП, муфты ГРП, активируемые шарами, геометрия трещины) в условиях парфеновского горизонта Ковыктинского ГКМ.

Перспективным направлением для развития ГРП является применение неугаровой жидкости разрыва.

Планируется проведение ГРП через КПО. ОПР рассматривает возможность проведения работ через эксплуатационную трубу с целью сокращения временных рамок на освоение, а также операционных затрат.

Также осуществляется развитие методики ГРП в рамках дорожной карты.

В рамках ОПР на Ковыктинском месторождении проведен микросейсмический мониторинг трещины ГРП на трех скважинах, где подтвердилось азимутальное развитие трещины.

## Опыт подбора жидкости ГРП на основе ВУ ПАВ для условий туронских залежей

*Н.В. Бабкина, Ю.А. Третьякова, В.А. Третьяков,  
Н.В. Кузина, Е.В. Крутихин, С.В. Гусев  
(АО «Полиэкс»)*

Туронские газовые залежи Западной Сибири являются важным источником углеводородного сырья для газодобывающей промышленности России с прогнозируемыми запасами более 3 трлн м<sup>3</sup> природного газа. Разработка этих залежей сталкивается с рядом сложных условий, таких как низкая проницаемость пластов, высокая гидрофильность коллекторов и низкие пластовые температуры, что затрудняет применение традиционных подходов к гидроразрыву пласта (ГРП).

Рассматривается опыт подбора рецептуры жидкостей разрыва на основе вязкоупругих поверхностно-активных веществ (ВУ ПАВ) СУРФОГЕЛЬ® марки Д, которая не содержит полимерных компонентов, что исключает образование кольматирующих остатков при разрушении геля и способствует сохранению высокой проводимости трещин после ГРП, что особенно важно в условиях низких пластовых температур. Жидкость готовится на водной основе (в том числе на минерализованной сеноманской воде), через стадию «линейного» низковязкого геля с последующей добавкой активатора (агента, повышающего вязкость) в поток или в смесительную емкость с получением геля с регулируемой вязкостью и пескоудерживающей способностью.

В ходе проведения исследований была разработана рецептура жидкости на основе СУРФОГЕЛЯ® марки Д, которая при низкой вязкости (120 сП при 100 с<sup>-1</sup>) обладает пескоудерживающей способностью: удерживает 93 % загруженного пропанта ForeProp 16/20 (600 кг/м<sup>3</sup>) в течение 60 минут проведения статического теста. Жидкость проявляет выраженные неньютоновские псевдопластичные свойства ( $K = 5,19$  и  $n = 0,35$ ), стабильна во времени, устойчива в циклическом тесте на стабильность при смене сдвиговых нагрузок. Коэффициент линейного расширения керна  $T_{1-2}$  в жидкости составил менее 1 %. Важным преимуществом является способность этой жидкости быстро и без остатка разрушаться при контакте с углеводородами и алифатическими спиртами (в том числе метанолом), что обеспечивает сохранение проводимости пропантной пачки (близко к 90 %) и минимальное негативное воздействие на проницаемость коллектора (коэффициент восстановления проницаемости по газу для кернов  $T_{1-2}$  не менее 68 %).

Жидкость успешно опробована при проведении ГРП на объекте с пластовой температурой 20–25 °С. Применение такой жидкости для ГРП в скважинах с туронскими отложениями может стать альтернативой углеводородным жидкостям и снизить затраты на химические реагенты.

## **Опыт оперативного анализа событий на скважине во время проведения МГРП с использованием устьевых датчиков давления**

*Д.В. Бадажков, Е.Е. Хогоева, Л. Короленко  
(ООО «Смарт Алгоритмс»)*

Многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП) нередко проводится в сложных геологических условиях. При этом в реальном времени необходимо получать информацию о фактическом интервале стимуляции и оперативно принимать решение в случае отклонения от плана работ. Измерения устьевого давления с частотой регистрации 1 Гц – хорошо известный и зарекомендовавший себя метод контроля проведения ГРП. При этом значительно расширить информативность анализа устьевого давления можно посредством увеличения частоты его регистрации до 3 кГц, что позволяет проводить спектральный анализ колебаний давления в закачиваемой жидкости ГРП, который в свою очередь в совокупности с математической моделью распространения акустического сигнала в анализируемой скважине дает возможность определять интервалы развития трещин, негерметичность и контроль целостности эксплуатационной колонны или пакеров-отсекателей, посадку шара, а также имеет ряд других возможностей. Дальнейшее естественное расширение использования предлагаемого метода направлено на определение интервалов закачек (зонирование закачек) в нагнетательных скважинах в системах поддержки пластового давления, что позволяет, используя только поверхностные данные, проводить расчет зон закачек.

В докладе отражен опыт применения технологии (технология КЕПЛЕР™), разработанной на основе предложенных выше подходов. Данная технология обладает рядом преимуществ, основное из которых – это анализ данных в реальном времени и отсутствие необходимости в спуске дополнительного оборудования в скважину с целью, например, определения интервала негерметичности или уточнения интервала приемистости жидкости в пласт, а также значительное уменьшение затрат по сравнению с забойными системами мониторинга (например, спускаемые волоконно-оптические датчики для распределенной термометрии).

Следует отметить, что мониторинг ГРП и анализ данных как в реальном времени, так и по окончании работ на основе используемого аппаратно-программного комплекса на скважинах с различной компоновкой заканчивания показал успешную применимость и может тиражироваться. Данная технология является полностью российской разработкой и успешно решает задачи импортозамещения, а также отличается от аналогичных методов более широким спектром регистрируемых частот и методиками анализа, позволяющими минимизировать неопределенности в процессе выполнения МГРП.

## **Перспектива разработки юрских отложений Надым-Пур-Тазовского региона**

*Р.Д. Биккулов, М.П. Бурков  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Надым-Пур-Тазовский регион продолжает играть ключевую роль в добыче углеводородов в России. Однако истощение традиционных месторождений актуализирует необходимость освоения трудноизвлекаемых запасов, сосредоточенных в юрских отложениях. Эти пласты отличаются сложными геологическими условиями: низкой проницаемостью, аномально высокими пластовыми давлениями и повышенными температурами. Несмотря на технологические сложности, разработка юрских отложений представляет значительный интерес благодаря их ресурсному потенциалу. Одним из наиболее эффективных методов освоения таких залежей является гидроразрыв пласта (ГРП), который позволяет повысить продуктивность скважин за счет создания высокопроводящих трещин в породе.

Проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта разработки юрских отложений показал, что успешное применение ГРП требует учета специфических геологических условий региона. Моделирование процессов гидроразрыва выявило тенденцию к вертикальному росту трещин, что необходимо учитывать при проектировании работ. Выбор оптимальной технологии ГРП (стандартный, гибридный или с использованием полиакриламида) зависит от геолого-геомеханических характеристик пластов, а также рисков прорыва в непродуктивные зоны.

Освоение юрских отложений Надым-Пур-Тазовского региона с применением современных технологий ГРП открывает новые перспективы для увеличения ресурсной базы углеводородов и укрепления энергетической безопасности страны. На основе анализа лучших практик отечественного и международного опыта были разработаны рекомендации по эффективной разработке юрских отложений в регионе. Для успешной реализации этого направления необходимы дальнейшие исследования, адаптация технологий к местным условиям, а также комплексное научно-техническое сопровождение работ.

Таким образом, разработка юрских отложений Надым-Пур-Тазовского региона представляет собой стратегически важное направление, требующее использования современных подходов и междисциплинарного сотрудничества для достижения устойчивых результатов.

## **Исследование влияния разрывных нарушений на осложнения при бурении и ГРП**

*А.В. Бондаренко, Г.И. Матниязова, У. Муслимов,  
А. Гула, Н. Гайсина, А.В. Сидельник  
(ООО «Физгео»)*

Целью работы является прогнозирование потенциальных рисков при бурении и проведении ГРП на основе комплексирования базы данных осложнений и поиска их взаимосвязи с выделенными при помощи геомеханических инструментов разрывных нарушений.

Подход:

1. Построение 3D геомеханической модели для оценки НДС и учета гетерогенности механических свойств горных пород по латерали.

2. Создание разломной модели на основе геологических разломов, выделенных нарушений по многовариантному атрибутивному анализу сейсмических данных.

3. Построение инверсионной модели напряжений с целью типизации нарушений согласно механике образования (открытые трещины, трещины сдвига и сжатия).

4. Формирование базы данных по выявленным осложнениям в процессе проводки скважины и ГРП.

5. Расчет критически напряженного состояния (реактивации) нарушений при рабочем давлении в процессе бурения и ГРП. Построение карты активности нарушений в околоскважинной зоне для оценки рисков возникновения осложнений.

Данный подход позволяет адресно корректировать дизайн ГРП, учитывать латеральную неоднородность пласта, проводить работы в зоне структурных нарушений, выделять зоны успешного или проблемного проведения ГРП.

## **Выполнение ГРП в отложениях аномальной баженовской свиты**

*Г.К. Валиуллина (ООО «ТаграсРС»),  
А.М. Зотов, А.К. Газетдинов (ООО «ЛРС»)*

Проект реализован на основании государственного задания Федерального агентства по недропользованию Роснедра.

Все работы, включая подготовительные, проводились силами дивизионов «Таграс Холдинга»: подготовка скважины – силами бригады КРС предприятия «ЗБС-Сервис» ООО «Таграс-РС», ООО «ТНГ-Групп» – микросейсмический мониторинг, предприятия по ГРП «Таграс-РС» проведен сам процесс интенсификации.

Состояние скважины: выведена из консервации, подготовлена к ГРП. Скважина вертикальная. Глубина – 3000 м.

В рамках подготовки к работе были проведены множественные исследования керна, в том числе влияние кислот. По полученным результатам в дизайн была внесена стадия закачки соляной кислоты.

Данный процесс проводился в рамках опытно промышленных работ. Основной задачей Заказчика было провести работу без осложнений и получить приток по нефти. В результате было принято решение провести данную работу по технологии гибридного ГРП. Скорость закачки 6 м<sup>3</sup>/мин. В процессе ГРП было закачено 50 т проппанта при давлении закачки свыше 400 атмосфер, 1130 м<sup>3</sup> геля.

Согласно данным сейсмического исследования общая длина гидравлических трещин составила около 570 м, высота сейсмического облака – 30–35 м, средняя ширина трещины – 2,2 мм. Азимут созданных трещин имеет преимущественно СВ-ЮЗ направление.

Устьевые и глубинные пробы нефти направлены на изучение. Химический анализ нефти подтвердил, что данная нефть из баженовской свиты.

В процессе выполнения работ по объекту региональных ГРП 2023–2024 гг. доказана продуктивность отложений аномального разреза баженовской свиты.

Об успешном результате было доложено на заседании комиссии газовой промышленности ПАО «Газпром» 2 апреля 2024 г.

## Особенности технологических решений по заканчиванию скважин при высокорасходных ГРП

*А.Н. Васильев, С.А. Тунгусов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Строительство скважин с горизонтальным окончанием (горизонтальные скважины) и развитие технологий проведения ГРП можно считать катализатором освоения трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) углеводородов, что находит подтверждение в бурном росте добычи газа и нефти из сланцевых формаций США начиная со второй половины 2000-х гг. С тех пор из года в год в США обновлялись рекорды по количеству стадий МГРП в горизонтальных скважинах, объемам закачки пропанта, увеличению добычи ТРИЗ.

В настоящее время основной тренд технологического развития проектов по освоению низкопроницаемых плотных коллекторов, нетрадиционных ресурсов сланцевого газа и метана угольных пластов связан с переходом на высокорасходные ГРП на водной основе с добавлением стабилизаторов глин, характеризующихся расходом смеси жидкости с пропантом от 6 м<sup>3</sup>/мин и более. В рамках развития технологий ГРП отмечается рост массы пропанта и объема закачиваемой жидкости ГРП.

Типовые решения по заканчиванию скважин с эксплуатационной колонной условными диаметрами 140–178 мм, в том числе хвостовиками диаметром 114 мм, позволяют выполнять ГРП и стадии МГРП с различными расходами через технологические НКТ, как правило, диаметрами 73 и 89 мм с применением жидкостей ГРП, включающих полимерные добавки.

В случаях исключения полимерных добавок из жидкости ГРП при проведении высокорасходных операций ГРП с объемами закачки от 6–8 до 12–15 м<sup>3</sup>/мин и более потери давления в трубах могут составить значения, не позволяющие провести интенсификацию в существующей скважине с текущей конструкцией. К примеру, значение гидравлических потерь в НКТ составит 88,22 МПа по формуле Дарси – Вейсбаха, для условий НКТ 114 мм, расход 12 м<sup>3</sup>/мин, жидкость ГРП – техническая вода без добавок, глубина скважины по стволу 2000 м, а ГРП, проведенный для тех же условий, но в качестве жидкости ГРП – SlickWater (техническая вода с загрузкой полимера 8 л/м<sup>3</sup>), то гидравлические потери в НКТ 114 мм составят не более 10,66 МПа.

Таким образом, на выбор заканчивания скважины и непосредственно на диаметр эксплуатационной колонны или хвостовика при проведении высокорасходных ГРП первоочередное значение будет иметь состав жидкости ГРП. Применение жидкостей на водной основе без включения полимерных добавок влечет кратное увеличение гидравлических сопротивлений при прокачке, что в свою очередь потребует разработки конструкции скважины с возможностью спуска технологических труб условными диаметрами 140 мм и более или же проведение ГРП непосредственно через эксплуатационную колонну.

## **Оценка влияния нестационарных и нелинейных эффектов в трещинах ГРП на оптимальные параметры системы разработки низкопроницаемых пластов**

*Я.Г. Воронинская, А.И. Варава, Д.А. Самоловов, Р.Т. Апасов  
(ГК «Газпром нефть»)*

Согласно традиционному подходу к оценке безразмерной проводимости трещины ГРП, FCD, равная 10, характеризует трещину бесконечной проводимости. Однако опыт разработки низкопроницаемых газоконденсатных коллекторов показывает, что увеличение проводимости трещины до 50 и более все еще вызывает увеличение продуктивности.

В рамках данной работы для оценки параметров трещин ГРП был применен модифицированный метод оценки безразмерной проводимости трещины, учитывающий нестационарные и нелинейные эффекты течения в трещине ГРП.

Для апробации метода создана синтетическая модель с прямым моделированием трещины ГРП (логарифмическое измельчение). Согласно расчетам использование аналитических палеток возможно с применением корректирующих множителей (корректировка на допущения аналитики).

Модифицированный подход позволяет масштабировать эффект от оптимизации дизайна ГРП во времени и определять скважины-кандидаты на увеличение проводимости не только на старт работы, но и через полгода-год с учетом экономики. Кроме того, применение трендов падения продуктивности во времени позволяет исключить гидродинамические расчеты и сделать принятие решение о дизайне ГРП более оперативным.

По результатам оценки экономики на месторождении X доказана эффективность изменения дизайна ГРП, несмотря на достаточно высокие значения FCD при текущем дизайне трещины ГРП.

Рекомендовано провести тестирование различных дизайнов ГРП на стадии ОПЭ (разные тоннажи и технологии закачки).

## **Сравнительный анализ ГРП сразу после бурения и при отложенном проведении: итоги, проблемы и пути совершенствования технологии**

*В.А. Вотчель*  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В докладе представлен уникальный опыт проведения гидроразрыва пласта на Чаяндинском НГКМ сразу после бурения скважины и при отложенном проведении операции. Дана краткая характеристика геологического строения продуктивных горизонтов Чаяндинского НГКМ, а также рассмотрены применяемые конструкции заканчивания скважин, обеспечивающие проведение ГРП при различных подходах.

Особое внимание уделено анализу основных технологических и эксплуатационных проблем, включая негерметичность ННП и двухпакерных компоновок, а также повышенные гидравлические трения жидкости ГРП после проведения перфорационных работ.

В докладе представлены ключевые итоги выполненных работ, включая обоснование причин возникновения указанных проблем и предложения по их устранению.

Кроме того, даны рекомендации по совершенствованию технологии проведения ГРП на основе полученного опыта, включая оптимизацию существующей системы жидкости, дизайна операций и освоения скважин после проведения ГРП.

## Эволюция разработки ТРИЗ

А.А. Гаязов, А.Э. Федоров  
(ООО «РН-БашНИПИнефть»)

Вовлечение в эффективную разработку трудноизвлекаемых запасов (низкопроницаемые коллектора и нефтематеринские породы, за исключением высоковязкой нефти) посредством апробации, адаптации и внедрения передовых технологий:

- создание систем проектирования и мониторинга разработки ТРИЗ на основе лучших достижений компании, мирового опыта и НИР по направлению деятельности института;
- апробация и адаптация технологий и методов разработки на пилотных участках и постоянно их совершенствовать на основе получаемых данных, с последующим полномасштабным внедрением;
- экспертное и консультационное сопровождение проектирования и разработки ТРИЗ.

Для потенциальной эффективности реализуется спектр комплексного научного инженерно-технического сопровождения разработки ТРИЗ, включающий в себя:

- геомеханическое моделирование;
- лабораторные исследования жидкостей разрыва и пропантов;
- проектирование дизайнов, исследования на скважинах;
- различные режимы освоения;
- и множество других аспектов.

В части выполнения работ используется наукоемкое ПО производства ПАО «НК «Роснефть».

Комплексный подход к разработке активов позволил добиться ряда успехов:

- в рамках ОПР реализованы рекордные показатели по закачке пропанта и жидкости разрыва, что в совокупности с изменением системы разработки позволило увеличить накопленную добычу нефти по скважинам в 4,2 раза, при средней кратности  $K_{\text{прод}}$  в 3,4.
- в рамках проекта «Бажен» получены высокие запускные дебиты нефти, для горизонтальной скважины пиковый дебит составил 268 т/сут, что является рекордом баженовской свиты по РФ среди ГС с МГРП.

Активное развитие технологий и комплексный подход к изучению и разработке месторождений – ключевые факторы в повышении эффективности освоения ТРИЗ.

Реализуются уникальные исследования и передовые технологии в пользу эффективной разработки ТРИЗ. Успешный опыт и достижения тиражируются в Обществах Групп Компании в производственных целях, направленные на повышение продуктивности скважин и увеличение добычи в целом.

## Матрица применения УЭЦН при освоении и эксплуатации ГС с МГРП

*К.А. Горидько, А.А. Гаязов, А.Э. Федоров, А.М. Садыков  
(ООО «РН-БашНИПИнефть»)*

Цель работы – разработка методики оптимального освоения скважин ГС с МГРП для объектов с низкопроницаемыми коллекторами в условиях падающей динамики добычи жидкости.

Задачи:

1. Разработка методики выбора УЭЦН методики подбора оптимального типоразмера установок электроцентробежных насосов для эксплуатации низкопроницаемых коллекторов в условиях нестационарного притока.

2. Разработка матрицы выбора оптимального ЭЦН в зависимости от коллекторских свойств.

3. Верификация и адаптация разработанной методики на скважинах Эргинского ЛУ Приобского месторождения.

4. Анализ эффективности освоения скважин и разработки участка ОПР Эргинского ЛУ Приобского месторождения.

Принцип подбора УЭЦН основан на решении уравнения нестационарной фильтрации совместно с работой листа методом последовательной смены стационарных состояний для системы «пласт – скважина – УЭЦН» и при дальнейшем решении задачи узлового анализа.

При подборе используются следующие допущения:

1. Динамика добычи жидкости строится из предположения постоянства коллекторских ФЕС во времени, постоянного пластового давления.

2. PVT-модель «BlackOil».

3. Не учитывается изменение конфигурации и характеристик трещин МГРП во времени.

4. В качестве 1 сут в модели принята дата кнопочного запуска УЭЦН после разрядки.

5. Оценка применимости УЭЦН определяется путем решения задачи узлового анализа на забое для различных типоразмеров УЭЦН на разный период времени и положения рабочей точки на НРХ.

Результаты:

1. Разработана методика выбора УЭЦН, методика подбора оптимального типоразмера установок электроцентробежных насосов для эксплуатации низкопроницаемых коллекторов в условиях нестационарного притока.

2. Разработан прототип расчетного модуля для создания матрицы выбора УЭЦН.

3. Проведена верификация и адаптация предложенного алгоритма и модели на реальных ВНС ГС с МГРП с продольным и поперечным расположением относительно регионального напряжения для Эргинского ЛУ Приобского месторождения.

4. Анализ проведенных ОПР по выбору стратегии освоения (интенсивное или плавное) позволил сформировать ряд рекомендаций и запланировать проведение расширенной программы ОПР на месторождениях ООО «РН-Юганскнефтегаз».

Разработанный алгоритм применяется в производственной деятельности при планировании освоения и дизайнов УЭЦН на горизонтальных скважинах с МГРП, расположенных поперек регионального напряжения.

Дальнейшее развитие проекта направлено на создание цифрового двойника освоения скважины с МГРП ТРИЗ.

## **Газодинамический контроль ввода в разработку газового месторождения при заканчивании с ГРП: дренируемый объем, интерференция, деградация трещин**

*Д.Н. Гуляев, А.А Прилуцкий  
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина),  
Р.А. Мингараев (ООО «Софойл»)*

Традиционно считается, что при газодинамических исследованиях газовых скважин основными определяемыми параметрами являются пластовое давление, проницаемость и фильтрационные сопротивления, что позволяет предсказать значение дебита скважины при любом значении забойного деления. Гидропрослушивание в газовых скважинах считается затруднительным, так как воронки депрессии довольно крутые вследствие высокой сжимаемости газа. Оценка параметров трещин ГРП и мониторинг из изменения во времени также пока является экзотическим.

Авторами показано, что при условии оборудования скважин высокочувствительными манометрами с самого начала разработки залежи становится возможным решать значительно более широкий круг задач. Помимо мониторинга забойного давления в процессе эксплуатации определено следующее:

- динамика пластового давления в области дренирования каждой скважины;
- размер области дренирования каждой скважины, включая работу до ближайших и более удаленных границ;
- проводимость разломов на месторождении и их протяженность;
- полудлина и проводимость трещины ГРП и кольматация пласта вокруг нее;
- динамика скин-фактора скважины во времени;
- количественное влияние добычи скважин на каждую из окружающих скважин;
- проницаемость и связанная толщина пласта, по которым происходит межскважинная интерференция.

Данные параметры позволили уточнить геологическое строение залежи и повысить предсказательную способность гидродинамической модели, планировать адресные мероприятия по увеличению выработки и текущей добычи.

## **Технический предел строительства скважин на ТРИЗ в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»**

*Д.А. Закружный  
(РУП «ПО «Белоруснефть»)*

Целью данной работы является поэтапный анализ оптимизации всего цикла строительства скважин на ТРИЗ с учетом внедрения новой техники, технологий и новых подходов в работе бурового блока РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (далее – Компания).

Компания оказывает полный собственный спектр услуг для цикла строительства скважин (в том числе на ТРИЗ), с научной поддержкой собственного научно-исследовательского и проектного института (БелНИПИнефть):

- бурение новых скважин и ЗБС;
- подземный и капитальный ремонт скважин;
- выполнение работ с помощью колтюбинговых установок г/п до 60 т;
- гидроразрыв пласта, в том числе по технологии Plug&Perf;
- геофизические и сейсморазведочные работы;
- сервис по буровым растворам;
- сервис наклонно-направленного бурения;
- цементирование скважин, установка цементных мостов;
- сервис по вышкомонтажным работам.

Для окупаемости процесса добычи нефти из ТРИЗ необходимо не только качественно построить, освоить и ввести в эксплуатацию сложный объект, применяя новую технику и технологии, но и сделать это в кратчайший срок с минимальными затратами.

Для реализации данной задачи Компанией разработан комплекс мероприятий, включающий все этапы цикла строительства скважин на ТРИЗ, что позволило сократить бурение сложных скважин с горизонтальным окончанием (1500–2300 м) с 90 до 26 суток. Также при освоении скважин методом многостадийного, многообъемного ГРП по технологии Plug&Perf внедренный комплекс мероприятий позволил сократить цикл освоения (от начала МГРП до спуска подземного оборудования) с 45 до 19 суток. Итого полный цикл строительства данных скважин сокращен на 90 суток.

Достичь данных результатов в сложных горно-геологических условиях Припятского прогиба Республики Беларусь позволило:

- перевооружение с внедрением новых буровых установок эшелонного типа с современным периферийным оборудованием,
- внедрение собственных рецептур буровых и тампонажных растворов,
- оптимизация конструкций и схемы заканчивания скважин,
- современные подходы по наклонно-направленному бурению с применением роторно-управляемых систем, с последующим освоением высокорасходным (до 18 м<sup>3</sup>/мин), многостадийным (более 30 стадий на скважину), многообъемным (до 300 т расклинивающего агента (песок или пропант) на стадию по технологии Plug&Perf с применением современных флотов ГРП и ГНКТ с максимальным давлением до 105 МПа.

### **Результаты, выводы.**

С учетом внедренных организационных подходов, технических решений и обновления парка оборудования, задействованного в цикле бурения и освоения скважины, общий срок строительства скважин с горизонтальным окончанием на ТРИЗ от забурки до спуска подземного оборудования сократился на 90 суток (со 135 до 45 суток).

## **Анализ влияния технологических решений при проведении ГРП на продуктивность скважин на участке 1А ачимовских отложений Уренгойского НГКМ**

*М.Р. Зарипов*  
(ООО «Ачимгаз»)

Компания ООО «Ачимгаз» осуществляет разработку участка 1А ачимовских отложений Уренгойского НГКМ. На 01.02.2025 общий фонд ООО «Ачимгаз» составляет 115 скважин на 28 кустовых площадках, проведены 197 ГРП, при этом закачано 45400 т проппанта и 236 тыс. м<sup>3</sup> жидкости.

При проведении ГРП на ачимовские отложения участка 1А Уренгойского НГКМ были применены различные технологические решения:

- изменение концентрации проппанта от 1000 до 1300 кг/м<sup>3</sup>;
- изменение объема буферной жидкости (подушки);
- изменение объема ГРП (масса проппанта);
- проведение ГРП с использованием буферной жидкости на линейном геле;
- применение технологии кластерного ГРП («HI-WAY, Шлюмберже»);
- увеличение размерности проппанта с 20/40 на 16/20;
- проведение МГРП на субгоризонтальной скважине (4 стадии).

Для оценки эффективности влияния различных технологических решений при ГРП на продуктивность скважин осуществлялась выборка скважин со схожими геологическими условиями, на которых проводились газодинамические и газоконденсатные исследования на одинаковых штуцерах в течение длительного времени.

В докладе представлены результаты исследований, сравнение продуктивных характеристик скважин с различными ГРП, а также сопоставление накопленной добычи пластового газа по истечении длительного времени.

## Выполнение ГРП на соленой воде с системы ППД

*А.М. Зотов, Р.Р. Фархутдинов  
(ООО «ЛРС»)*

Количество ГРП по всему миру увеличивается, а значит, увеличивается потребление пресной воды. Как правило, для приготовления жидкости ГРП на водной основе используют пресную воду с поверхностных источников (река, озеро). Идея создания системы жидкости ГРП, которая позволит использовать воду с любого источника, давно обсуждается в обществе производителей гидроразрыва пласта. В Западной Сибири проводят операции на сеноманской воде, но она слабо минерализованная. Специалистами ООО «ЛРС» совместно с одним из заказчиков было решено провести опытные работы на соленой воде с системы поддержания пластового давления.

На первом этапе проводился подбор рецептуры жидкости разрыва (тест на сдвиг и тест на разрушение). По результатам тестов подобрана рецептура жидкости ГРП

Так как родная вода из пласта не должна влиять на набухание глин, возникло предположение, что можно отказаться от стабилизатора глинистой составляющей пласта коллектора, поэтому было принято решение заняться определением необходимости применения этого реагента методом капиллярной пропитки с применением прибора OFITE 294-50. И по результатам тестов ввиду незначительной разницы предлагается исключить из рецептуры геля этот реагент.

По этой же причине, что гелирование проводится на родной пластовой воде, то и эмульсии в пласте тоже не должно образовываться. Проведены лабораторные тесты на разделение смеси пластовой воды и нефти, которые показали, что разделение двух фаз за 30 мин происходит на 95 %, что допустимо. Предлагается исключить из рецептуры и деэмульгатор.

На следующем этапе исследования проводились тесты на необходимость применения бактерицида. По результатам тестов, изменение вязкости геля с бактерицидом и геля без бактерицида не наблюдается, поэтому предлагается этот реагент тоже исключить из рецептуры.

По результатам проведенных работ был получен гель высокого качества, который позволит:

1. Сократить продолжительность операции ГРП.
2. Сократить транспортные затраты на завоз пресной воды.
3. Отказаться от применения водогрейного агрегата в холодное время года.
4. Исключить применение стабилизатора глин.
5. Исключить применение деэмульгатора.
6. Исключить применение бактерицида.
7. Сократить выход скважины на режим после ГРП.
8. Отказаться от применения пресной воды.

## Кварцевый песок для ГРП – опыт применения в Западной Сибири

*К.Г. Зотов*  
(ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»)

Целью работ является снижение затрат на производство МГРП и ГРП при сохранении технологической эффективности. Задачей является определение возможности и области применения кварцевого песка при ГРП. При этом отдельно рассмотрена возможность применения кварцевого песка с размерностью, аналогичной используемому пропанту (фракция 20/40) и более мелких фракций (30/50 и 40/70).

Одной из наиболее затратных статей при проведении работ ГРП является стоимость материалов (химических реагентов, расклинивающего агента, жидкости). Возможным вариантом оптимизации данных затрат является применение менее дорогого расклинивающего агента, в качестве которого стандартно применяется искусственно произведенный керамический пропант.

В качестве альтернативы керамическому пропанту возможен натуральный кварцевый песок, который имеет меньшую стоимость, чем пропант, но также имеет и отличия в прочностных свойствах, что требует оценки возможности применения кварцевого песка при ГРП. Оценка этой возможности отражена в данной работе.

В рамках работ для песка 20/40 были проведены лабораторные исследования кварцевого песка, определены возможные объемы испытаний и дизайны ГРП, выполнены полевые работы ГРП, осуществлен анализ работы скважин после ГРП и анализ экономических затрат.

Для дополнительного песка 20/40, также песков 30/50 и 40/70 проведены лабораторные исследования, ведется подготовка к полевым работам.

Успешно выполнены полевые работы по ГРП с применением песка 20/40. Средние технологические параметры работы скважин с применением кварцевого песка сопоставимы со скважинами стандартного ГРП.

Для расширения списка применяемых кварцевых песков и дальнейшего снижения стоимости проведены лабораторные исследования и оценка параметров песка фракций 20/40, 30/50 и 40/70. Запланировано проведение полевых работ с данными песками.

Применение кварцевого песка при ГРП как метод снижения затрат носит опытный характер и на текущий момент не является общепринятым для недропользователей РФ.

## **Реологические исследования и практическое применение новых отечественных деструкторов L-BPEROX 50B/L-BPEROX 50BM**

*Р.Д. Каркаев (ООО «Альянс Сервис»),  
М.С. Ломакин (ООО «ХимПолимер»)*

В современной России рынок деструкторов для процессов гидроразрыва пласта в нефтедобывающей отрасли представлен очень незначительным числом позиций отечественного производства. В рамках интенсификации импортозамещения компания «ХимПолимер» представила разработку – брейкер L-BPEROX 50B, а также его модификацию L-BPEROX 50BM. Марки хорошо зарекомендовали себя как в удобстве хранения, так и в момент фактического применения. Во многом это обусловливается повышенным содержанием пероксида бензоила, который компания «ХимПолимер» производит по собственной технологии. Оба варианта деструктора успешно прошли реологические исследования на определение времени стабильности жидкости ГРП, а также испытания на остаточную проводимость пропантной пачки. Продукция прошла сертификацию в системе «Т-ЭКСПЕРТ», а также получила свидетельство об отсутствии ХОС. Экономический анализ показал целесообразность выведения L-BPEROX 50B и L-BPEROX 50BM на рынок.

## **Вызовы и решения в области проектирования, анализа, моделирования, обучения специалистов ГРП**

*Д.В. Кашапов*  
(ФГБОУ ВО «УГНТУ», ООО «ФРАК ГРАДИЕНТ»)

Гидравлический разрыв пласта является одним из основных методов повышения нефтеотдачи пластов. С постепенной выработкой текущих запасов углеводородов и вовлечением трудноизвлекаемых запасов в разработку количество операций ГРП в РФ растет. О важности ГРП говорит тот факт, что благодаря ГРП в США идет «сланцевая революция». Количество операций, флотов ГРП, специалистов, вовлеченных в технологию ГРП, увеличивается большими темпами, что требует качественного совершенствования подходов в области производства работа по ГРП для увеличения продуктивности скважины, с одной стороны, и снижения операционных затрат, с другой.

Улучшения в области проектирования, анализа, моделирования, обучения специалистов ГРП, лабораторные исследования проппантов, жидкостей разрыва, а также оптимизация процесса проведения ГРП – такие задачи стоят перед нефтегазовой отраслью.

Каким образом данные вызовы решаются в стенах УГНТУ, представлено в докладе.

## Технологии ГРП ООО «КАТКоневфть»

*В.А. Колдобенко*  
(ООО «КАТКоневфть»)

1. Жидкости ГРП на основе синтетических гелеобразователей.

Синтетический гелеобразователь.

Преимущества:

- высокая остаточная проводимость;
- снижение кольтатации порового пространства;
- снижение рабочего давления;
- упрощение рецептуры жидкости ГРП.

Проблематика:

- ограничения максимальной концентрации проппанта;
- необходимость высокого темпа закачки.

Высоковязкая система на основе синтетического гелеобразователя (сшитая синтетика).

Преимущества:

- вязкость системы выше, чем у стандартной синтетической системы;
- возможность использования системы с более низкими загрузками гелеобразователя;
- нет необходимости в использовании дополнительных химреагентов для высокотемпературных пластов;
- подходит для применения на пластах с АВПД.

2. ГРП на холодной воде.

Цель – сокращение непроизводительного времени на операцию за счет уменьшения периода нагрева жидкости.

Применение гуаровых жидкостей:

- с добавлением стабилизирующей добавки – при температуре воды от +6 до +15 °С, в весенний и осенний периоды;
- без использования добавок – при температуре воды от +16 °С и выше, в летний период.

Преимущества:

- повышение операционной эффективности;
- уменьшение периода нагрева жидкости;
- сокращение времени на подготовительные работы к ГРП;
- ускорение запуска скважин.

## **Экспертная система «ПроБА®». Выбор технологических решений для разработки низкопроницаемых турбидитных коллекторов Западной Сибири**

*А.Ю. Кондратьев, И.Р. Мукминов, Г.В. Волков, Ю.С. Березовский,  
Д.В. Кириллова, И.А. Жданов (ГК «Газпром нефть»),  
С.В. Вахрушев, И.И. Боков (ФГАОУ ВО «СПбПУ»),  
О.С. Мерега (ФГАОУ ВО «КФУ»)*

Целью работы являлось создание инструмента, позволяющего выполнять скрининг технологических решений по разработке, бурению, заканчиванию и интенсификации притока, а также определять периметр тиражирования наиболее эффективных решений, построение библиотеки технических решений для группы нефтяных и газовых пластов. Работа охватывает огромную по площади территорию (треть площади Западно-Сибирского региона), где происходило накопление осадков низкопроницаемых турбидитных пластов в меловую эпоху.

В условиях недостаточности входных данных необходима последовательная систематизация и интеллектуальный анализ имеющейся информации. Эта задача решается путем создания экспертной системы, позволяющей интегрировать знания и опыт о целевом объекте на различных уровнях, провести интеллектуальную обработку имеющейся неполной и, зачастую, неточной информации, предложить аналоги и технологические решения, используя алгоритмы машинного обучения и анализа данных.

Работа состоит из трех больших частей. Первая часть заключается в выполнении типизации объектов по геологическим и геомеханическим характеристикам. Вторая часть – поиск набора подходящих технических решений для низкопроницаемых, неоднородных залежей УВ. Выполнена инженерия разработки, в которой решается задача нахождения оптимального решения в условиях неопределенности. В заключение происходит оценка влияния геологических и технологических параметров совместно. Третья – разработка web-приложения для интеграции алгоритмов по типизации, определения оптимальных технологических сценариев.

В результате выделены 7 типов низкопроницаемых турбидитных объектов, отличающихся по геологии, разработке, и 6 типов по геомеханике.

Создана экспертная система для выбора оптимальной технологии разработки АТ, в которой пользователь на основе имеющейся у него информации об исследуемом объекте может получить статистику о наиболее схожих объектах (кластер), об опыте применения различных технологических решений на таких объектах, а также предложения по оптимальному технологическому сценарию для рассматриваемых условий.

## **О необходимости учета при ГРП в карбонатных коллекторах Ковыктинского ГКМ наличия сверхрастворимых пропластков кристаллогидратов-рапогенераторов**

*С.Б. Коротков (ООО «Газпром инвест»),  
С.В. Кожевников (ООО «Газпром недра»)*

В ходе геологоразведочных работ и строительства разведочных, «литиевых» и эксплуатационных скважин на Ковыктинском ГКМ были выявлены интервалы интенсивных рапопроявлений, осложняющих бурение, а иногда приводящих к авариям с последующей ликвидацией скважин. Состав рапы кардинально отличается от привычных всем высокоминерализованных пластовых вод ( $\text{NaCl}$ , предельная минерализация 320 г/л) и представляет собой сверхконцентрированный рассол (до 620 г/л) поликомпонентных кристаллогидратов –  $\text{CaMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и др. с общей минерализацией более 600 г/л. До 2024 г. основной рабочей гипотезой было представление о «маточной рапе», содержащейся в кавернозных строматолитовых доломитах кембрийского галогенно-карбонатного комплекса и локальном АВПД. Однако еще в конце 90-х гг. XX в. была выявлена эмпирическая закономерность: если при бурении в верхнем надсолевом интервале разреза происходили катастрофические поглощения бурового раствора, то в среднем – галогенно-карбонатном интервале – происходили катастрофические рапопроявления, приводившие иногда к серьезным авариям и ликвидации скважины. По мнению авторов, это может свидетельствовать о спонтанном неконтролируемом «выталкивании» буровым раствором пластовой воды в нижележащие галогенные интервалы и спонтанном «аварийном» ГРП. Вероятно, при достижении пластовой водой (с минерализацией по  $\text{NaCl}$  150–300 г/л) пропластков кристаллогидратов происходит мгновенное их растворение. Эта вторая гипотеза, подготовленная в ходе выполнения НИР ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по заказу ПАО «Газпром». Дискуссионный характер вопроса о генезисе рапы придает особую актуальность получению новой информации о наличии кристаллогидратов.

В ходе строительства скважин на литийсодержащие рапоносные интервалы с использованием бурового раствора на УВ основе авторами был выполнен анализ данных бурения, шлама, керна и ГИС. Наиболее интересные результаты были получены по кривой профилометрии и ВИКИЗ – в подошвенных слоях галогенных пластов, непосредственно перед доломитовым интервалом, были отмечены сильнейшие размывы, превышающие в разы размывы в основной толще «чистых» натриевых солей. Мощность этих интервалов не превышает 1–3 м при общей мощности соляного прослоя 10–50 м, и, по мнению авторов, размывы приурочены к прослоям кристаллогидратов. По-видимому, насыщение УВ-бурового раствора пластовой водой привело к частичному размыву  $\text{NaCl}$  и очень сильному размыву «бишофитного» прослоя. Кристаллогидраты характеризуются высокой скоростью растворения (с увеличением объема раствора относительно исходных фаз), еще более увеличивающейся при вибровоздействии, экстремально низкими температурами кристаллизации и слабыми прочностными характеристиками.

При интерпретации в декабре 2024 г. данных комплекса ГИС по «литиевой» скважине № X Ковыктинского ГКМ сильнейшие размывы галогенного интервала, скачкообразно происходящие в подошвенной части галогенного интервала, непосредственно примыкающего к доломитовому пласту и отмеченные по кривой профилометрии, характеризуются высоким сопротивлением по всем зондам ВИКИЗ, т.е. даже зонд с наибольшим радиусом исследования не достигает неразмытой зоны предполагаемого пропластка кристаллогидратов. Кроме «приподошвенных» интервалов в галогенной толще отмечаются и тонкие, менее 0,5 м, слои, фиксируемые по разнице показаний зондов ВИКИЗ (использование профиломера рычажного типа не позволяет корректно измерять глубоко размывы зоны).

Кристаллогидраты (бишофит, карналлит, антарктидит, тахигидрит и др.) характеризуются пониженными геомеханическими свойствами и могут замещать NaCl в соленых технических жидкостях, формируя при этом, при определенных условиях, соляные пробки. Для предотвращения аварийных ситуаций и для достижения поставленных задач интенсификации притоков УВ необходимо уточнение геологической и геомеханической моделей месторождения.

В рамках реализации Программы ПАО «Газпром» по изучению карбонатного комплекса в эксплуатационных скважинах на Ковыктинском участке недр, при проектировании и выполнении ГРП настоятельно рекомендуется учитывать выявленный авторами факт наличия сверхрастворимых солей в верхней приконтактной части карбонатных коллекторов.

## Моделирование ГРП в ПО tНавигатор

*Г.А. Костин*  
(ООО «ИРМ»)

В докладе рассмотрены различные варианты моделирования трещин ГРП. Кратко описываются задачи, которые ставятся перед мероприятием, и этапы проведения. Рассказывается о том, какие способы задания трещин есть в ПО tНавигатор.

Рассмотрены основные возможности симулятора трещин ГРП в ПО tНавигатор. Описаны необходимые входные данные и способы их задания. Рассказано про визуализацию результатов, полученных после расчета симулятора трещин ГРП.

Описаны способы интеграции полученных параметров трещин ГРП в гидродинамическую модель.

## **Контроль динамики выработки пластов аномально низкой проницаемости по результатам исследований горизонтальных стволов с многостадийным ГРП. Проблемы и решения**

*М.И. Кременецкий, А.Н. Никонорова, А.В. Бахмутов  
(ГК «Газпром нефть»)*

Современный этап развития нефтегазовой отрасли в России характеризуется интенсивным вводом в эксплуатацию трудноизвлекаемых запасов углеводородов в пластах аномально низкой проницаемости. Рентабельная разработка таких коллекторов возможна только с применением современных технологий, предполагающих бурение горизонтальных стволов и вскрытие пласта системой сложных трещин гидроразрыва.

В этих условиях результативность гидродинамических (ГДИС) и промыслово-геофизических (ПГИ) исследований скважин, которые были и остаются основным инструментом оценки качества вскрытия коллектора и мониторинга добычи, резко снижаются. Преодоление этой негативной тенденции требует кардинального усовершенствования как технологии проведения исследований, так и подходов к интерпретации результатов.

В качестве базовой технологии ГДИС предлагается долговременный мониторинг давления и температуры на забое стационарными датчиками, с чередованием периодов отбора и коротких остановок скважины. При интерпретации результатов определяются значения комплексных инвариантных параметров, отражающих динамику притока газожидкостной смеси к трещинам во времени. В их состав входят фильтрационные свойства коллектора и размеры трещин. Базовой при рассматриваемом подходе является инварианта раннего линейного течения, позволяющая оценить поверхность дренирующих пласт трещин и среднюю длину каждой из них.

В условиях близкого расположения соседних трещин (кластерные технологии, SRV) оценивается инварианта раннего истощения, величина которой связана с суммарным объемом области дренирования. Именно этот параметр определяет добычные возможности скважины в коллекторе сверхнизкой проницаемости в условиях нелинейной фильтрации.

Еще одной существенной проблемой подобного коллектора является оценка текущего энергетического состояния пласта. Классические подходы к оценке этого параметра, на основе меняющегося во времени контура питания, становятся непригодными. Количественной характеристикой динамики выработки пласта может стать градиент давления в призабойной зоне и его среднее значение в зоне истощения.

Роль ПГИ состоит в определении профиля притока с последующей оценкой индивидуальных параметров локальных трещин или кластеров. Базовым методом оценки при слабых притоках с высоким газосодержанием становится термометрия скважин. Наиболее перспективны для этой цели стационарные распределенные по стволу датчики на основе оптоволокон.

## Опыт оптимизации ГРП на ачимовских отложениях участка 3А УНГКМ

*С.В. Кузнецов (ГК «Газпром нефть»),  
М.Ю. Климов (ООО «Газпромнефть-Заполярье»)*

В 2024 г. закончена реализация проектных решений Фазы 1 крупного проекта «Уренгой» силами ООО «Газпромнефть-Заполярье». Ресурсная база проекта сосредоточена в ачимовских отложениях Уренгойского НГКМ в пределах участка 3А.

Ачимовские отложения представляют собой геологически сложный построенный объект, к основным особенностям данного вида отложений, приуроченных к Уренгойскому месторождению, относятся:

- большая глубина залегания пластов (3,5–4,5 км);
- низкие фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пластов ( $K_{пр} < 2$  мД);
- высокая латеральная изменчивость ФЕС по вертикали и латерали;
- высокое значение коэффициента АВПД (1,6–1,8 д. е.);
- наличие притоков воды в купольных частях пластов, в том числе с 100%-м притоком воды.

Ключевым аспектом успешной реализации проекта стала программа оптимизации дизайнов гидроразрыва пласта (ГРП). Стоит отметить, что оптимизация дизайнов ГРП продолжалась вплоть до бурения последней проектной скважины. В процессе оптимизации подобраны наиболее эффективные дизайны закачки для достижения максимальной продуктивности единичной скважины.

Задача оптимизации дизайнов решалась путем последовательного определения проводимости трещин ГРП с последующей «привязкой» к исходным дизайнам и их последующего изменения в направлении увеличения или снижения агрессивности закачки при проведении основного ГРП. Так на первых скважинах по результатам закиси кривой восстановления давления (КВД) получен наклон производной  $\frac{1}{4}$ , что соответствует трещине ГРП с ограниченной продуктивностью. В дальнейшем программа закачки была скорректирована в сторону набора максимальной концентрации в начальной стадии закачки. Максимальная концентрация проппанта варьировалась в пределах 1500–1600 кг/м<sup>3</sup>. В дальнейшем при отработке скважины был получен значительный вынос проппанта в начальный период отработки скважины. После данного факта принято решение о снижении максимальной концентрации до 1400 кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, выполнен полуэмпирический подбор оптимального режима закачки для условий ачимовских отложений участка 3А Уренгойского НГКМ.

Также стоит отметить, что неотъемлемой частью данного процесса является геомеханическая модель, созданная на основании собственных керновых исследований. Точность, детальность и актуальность данного вида моделей позволяют существенно сократить временные затраты на подбор оптимальных дизайнов ГРП.

## Численное моделирование роста неплоских трещин гидроразрыва пласта в трехмерной постановке

*А.Ю. Кутищева, И.Ш. Базыров, И.И. Нугманов, М.С. Еряшкин  
(АНО ВО «Университет Иннополис»)*

Моделирование гидроразрыва пласта (ГРП) является важным инструментом при разработке трудноизвлекаемых запасов углеводородов и повышении нефте- и газоотдачи пластов. На практике наиболее широко используются так называемые планарные модели, которые приобрели популярность благодаря своей вычислительной эффективности и высокой практической ценности. Одной из наиболее востребованных на сегодняшний день является модель Planar3D. Эта модель позволяет с высокой точностью описывать изменения ключевых параметров трещины, таких как ее высота, ширина и длина. Она сочетает трехмерную постановку задачи упругости с двухмерной постановкой задачи течения жидкости внутри трещины, обеспечивая баланс между точностью и вычислительными затратами. Однако существует ряд задач ГРП, которые требуют применения полностью трехмерных моделей для более точного описания сложных процессов. Примеры таких задач включают: рост трещин в карбонатных трещиноватых коллекторах; моделирование трещин сложной геометрии (Т-образных, однокрылых, разнокрылых и других типов непланарной геометрии), инициирование трещин в околоскважинной зоне и другие случаи, где важна детализация и учет сопряженных взаимодействий. Использование полностью трехмерных моделей в таких сценариях позволяет достичь более точного прогноза поведения трещин.

Для обеспечения технологической независимости в нефтегазовой отрасли необходимо развитие отечественного программного обеспечения для полностью трехмерного моделирования (Full3D) ГРП. АНО ВО «Университет Иннополис» разработал модуль расчета трехмерного напряженно-деформированного состояния (НДС) в однородной области с учетом наличия трещины произвольной формы. Численная реализация модели Full3D основана на расширенном методе конечных элементов. Данный метод позволяет моделировать трещины произвольной конфигурации и обеспечивает высокую точность расчетов без интеграции геометрии трещины непосредственно в расчетную сетку. Это существенно повышает гибкость и производительность расчетов по сравнению с традиционными методами, которые требуют явного представления трещин в сетке. На текущий момент программная реализация модуля Full3D использует модель квазихрупкого разрушения с использованием J-интегралов Черепанова – Райса, которые дают возможность точно рассчитывать параметры разрушения вблизи фронта трещины для всех трех мод разрушения. Этот подход обеспечивает инженеру более глубокое понимание процессов роста трещины и позволяет моделировать ее поведение с учетом как локального напряженно-деформированного состояния, так и внешних условий. Применение J-интегралов дает преимущество перед другими методами, так как позволяет учитывать нелинейность и сложные механизмы разрушения, что особенно важно для сложных геологических условий. Модель роста трещины

также учитывает давление закачиваемой жидкости, что позволяет строить траектории роста для каждого сегмента фронта трещины, учитывая нелинейные взаимодействия. Для повышения точности моделирования применяется автоматическая стабилизация траекторий трещины.

Особенностью системы является автоматическая подстройка расчетной сетки под трехмерное напряженно-деформированное состояние и поверхность трещины, что позволяет обеспечить высокую детализацию результатов без потери производительности. Для выхода на опытно-промышленные испытания необходимо провести серию верификационных расчетов на основе данных натурных и лабораторных экспериментов, что позволит подтвердить корректность модели и ее применимость в различных геолого-геофизических условиях. Кроме того, требуется доработка интерфейса системы для интеграции с существующими технологическими процессами и повышения удобства использования профильными специалистами при решении инженерных и исследовательских задач.

## Инновационное оборудование Группы ФИД

*П.В. Лактионов  
(Группа ФИД)*

Группа ФИД – объединение российских и белорусских предприятий, создающих инновационное оборудование для повышения эффективности добычи углеводородного сырья.

За более чем 25 лет успешных поставок нефтегазового оборудования предприятиями Группы ФИД накоплен колоссальный конструкторский и производственный опыт.

Все поставляемое оборудование производится по собственной конструкторской документации, а продукция проходит все этапы создания в соответствии с государственными стандартами по порядку разработки и постановки продукции на производство.

Производство локализовано на территории Российской Федерации в г. Ярцево. Для производства продукции используются собственные производственные мощности, включающие все необходимые технологические переделы: заготовительное производство, механообработка, сварочное производство, нанесение лакокрасочных покрытий, механосборочные работы. Для проведения заводских испытаний используются уникальные стенды собственной разработки, прошедшие аттестацию в установленном порядке.

Линейка серийно производимого колтюбингового оборудования сертифицирована в Системе ИНТЕРГАЗСЕРТ, а система менеджмента качества ООО «МашОйл» подтвердила соответствие СТО Газпром 9001-2018.

В рамках доклада рассматриваются основные направления развития отечественного высокотехнологичного инновационного оборудования для нефтегазового сервиса и предложения Группы ФИД для современных технических вызовов в области ТРИЗ. В частности, рассмотрены следующие разработки:

- современные комплексы для гидравлического разрыва пласта, в том числе для выполнения высокорасходных операций;
- современные колтюбинговые комплексы (колтюбинговое оборудование в стандартном исполнении, колтюбинговое оборудование в модульном исполнении для работы с трубами большого диаметра и инжектором тяговым усилием 630 кН).

Кроме этого, в докладе представлены конструктивные решения по производимой технике по достигаемому процентному уровню локализации, а также по наращиванию доли отечественной комплектации для приведения к требуемому уровню локализации. Также приводятся основные предложения по стимулированию развития отечественного производства и повышения уровня локализации.

## **Повышение эффективности проектирования элемента разработки с включением анализа геомеханического поведения объекта**

*С.В. Лукин, А.В. Глазырина, А.В. Янышевский  
(ГК «Газпром нефть»)*

Эффективность проектирования разработки с применением гидроразрыва пласта ключевым образом зависит от полноты и достоверности геомеханических факторов, влияющих на распространение трещины ГРП во вмещающей среде. Описанный в данной работе подход предлагает способ последовательной оптимизации геометрии трещин ГРП через настройку геомеханических факторов карбонатных коллекторов, а также структурных особенностей и разломной тектоники месторождений Восточной Сибири.

В работе рассматривается развитие трещины ГРП на одном из месторождений Восточной Сибири. Объект приурочен к западной части Непского свода Непско-Ботубинской антеклизы. Интервал разработки относится к Юряхской свите. Одним из базовых вариантов разработки являются скважины с заканчиванием типа fish-bone, а в областях с более низкими ФЕС – базовый вариант разработки ГС с МГРП.

Среди рисков развития трещины ГРП и ее оптимизации в данной работе рассматриваются следующие факторы:

1. Прорыв и закрепление трещины в вышележащих и нижележащих интервалах.
2. Недостижение плановых показателей добычи из-за неоднородностей в пласте, связанных с наличием разломной тектоники в зоне развития трещины ГРП.

Предлагаются варианты последовательного снижения рисков за счет получения и учета данных о работе объекта, по результатам калибровки напряжений на факты ГРП (переинтерпретация данных), с учетом геофизических и керновых исследований, за счет актуализации на инциденты при бурении скважин. Ключевой аспект – создание непротиворечивой геомеханической модели резервуара и карбонатного коллектора, адекватно отражающей как условия первичного вскрытия, так и развитие трещины в процессе интенсификации, а также обеспечение учета корректных геометрий трещин в расчетах на гидродинамической модели.

Для одной из скважин проведен ГРП в рассматриваемом интервале. Основной фактор – оценка проводимости разломного нарушения в зависимости от напряженного состояния и давления закачки и влияния разломного нарушения на азимут развития трещины ГРП в соотношении главных напряжений. По результатам проведенного анализа показано, что изменение ориентации трещины ГРП составляет 15–20° в призабойной зоне и до 25° в дальней зоне.

Для оценки риска влияния разломных нарушений и, как следствие, риска получения стопа из-за утечек, риска активации разлома при производстве ГРП и дальнейшего влияния на приток к скважине рассматривается скважина с полным специальным комплексом исследований.

В качестве результата исследований подтверждена необходимость адаптации дизайна ГРП на актуализированную геомеханическую модель для целей

повышения эффективности проектирования разработки с применением гидро-разрыва пласта.

Актуализированная геомеханическая модель позволяет провести оптимизацию ГРП.

## **Геологические вызовы и технологические решения при проведении ГРП парфеновского горизонта Ковыктинского ГКМ**

*А.А. Малышкин*  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В докладе рассмотрена уникальность основных параметров гидроразрыва пласта на Ковыктинском ГКМ, обусловленная сложным и изменчивым геологическим строением парфеновского горизонта. Особенности данного месторождения формируют параметры ГРП, не имеющие аналогов как в России, так и за рубежом.

Кроме того, в рамках доклада представлены результаты сопровождения ГРП с момента начала работ на Ковыктинском ГКМ. В частности, освещены результаты лабораторных исследований жидкостей и пропантов, данные промыслово-геофизических исследований, а также результаты и эффективность оптимизации технологии ГРП, внедряемых на месторождении.

## Эволюция применения материалов для ГРП в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»

*В.В. Марченко  
(РУП «ПО «Белоруснефть»)*

Целью данной работы является оптимизация применения химических реагентов и расклинивающих материалов в цикле работ по ГРП, новые подходы к их использованию, импортозамещение в условиях западных санкций.

Перспективными направлениями применения химических реагентов и расклинивающих материалов в цикле работ по ГРП в первую очередь являются направления многостадийного высокорасходного ГРП. В зависимости от применяемых химических реагентов можно выделить следующие технологии:

- многостадийный кислотный ГРП;
- многостадийный ГРП с биополимерной жидкостью разрыва;
- многостадийный ГРП с синтетической жидкостью разрыва;
- вспомогательные добавки для многостадийного ГРП.

Рецептуры жидкости разрыва, используемые во всех технологиях, являются собственной разработкой и могут быть подобраны под любые горно-геологические и технико-технологические условия.

Такой подход позволил:

- снизить загрузку гуара до  $2,2 \text{ кг/м}^3$  для пластовой температуры  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- снизить загрузку гуара до  $2,4 \text{ кг/м}^3$  для пластовой температуры  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- снизить среднюю концентрацию ПАА на ТРИЗах с  $2\text{--}3 \text{ л/м}^3$  до  $1,37 \text{ л/м}^3$ ;
- повсеместно применять ПАА на «стандартных» коллекторах РБ;
- заменить жидкую форму ПАА на сухую без потери технологической эффективности.

Результат проделанной работы отразился в кратном снижении затрат на выполнение цикла работ по ГРП, выровнял стоимость  $1 \text{ м}^3$  биополимерной и синтетической жидкости разрыва, снизил зависимость от поставщиков реагентов для ГРП.

С целью экономии средств на применение расклинивающего материала в РУП «ПО «Белоруснефть» переосмыслили подход к его применению и разработали специальные технические требования под ключевые залежи углеводородов. Таким образом, самые востребованные позиции пропанта (40/70 и 30/50) удалось заменить на фракционный песок, причем собственного производства. Такая замена позволила значительно удешевить производство работ по ГРП и не привела к снижению эффективности.

На текущий момент в РУП «ПО «Белоруснефть» активно применяется фракционный песок вместо пропанта на всех типах коллекторов, и доля фракционного песка может достигать до 70–80 % от общей массы расклинивающего материала, закачиваемого в скважину в процессе выполнения ГРП.

Перспективы развития применения химических реагентов и расклинивающих материалов в РУП «ПО «Белоруснефть» – организация производства химических реагентов и плакирования расклинивающих материалов.

### **Результаты, выводы**

1. Материалы для гидравлического разрыва пласта определяются горно-геологическими условиями и применяемой технологией ГРП.

2. Современное лабораторное оборудование – залог успешного развития технологий ГРП.

3. Развитие и оптимизация рецептуры жидкости разрыва возможны только после разработки технических требований под каждый химический реагент, входящий в ее состав.

4. Равные условия для всех участников процедуры закупки – экономическая эффективность.

5. Организация собственного производства – производственная безопасность компании.

## **Анализ колебаний давления при гидроударе и определение характеристик пласта и трещины ГРП**

*А.А. Махота, Р.А. Башмаков  
(УУНиТ, ООО «ФРАК ГРАДИЕНТ»)*

При проведении операций гидроразрыва пласта (ГРП, МГРП) при резкой остановке закачки жидкости разрыва в результате резкого изменения скорости потока жидкости возникает гидроудар (Hammer-effect). При этом на датчиках, установленных на устье скважины, наблюдаются быстро затухающие колебания в течение 30–40 секунд. Период колебаний, а также интенсивность их затухания определяются не только протяженностью столба жидкости в скважине, ее диаметром и реологическими свойствами жидкости, но и коллекторскими характеристиками призабойной зоны пласта (в частности, коэффициентами проницаемости, качеством перфорации скважин и свойствами трещин, образовавшихся вследствие гидроразрыва пласта), т.е. гидроудар есть показатель состояния скважины, трещины ГРП и пласта.

Возможность использования данных изменения давления при ГРП подтверждается многочисленными теоретическими исследованиями. Большой интерес к подобным задачам проявляют ученые и инженеры из КНР. Также исследования ведутся компаниями Packers Plus, Conoco Philips, Schlumberger, Seismos Inc, ПАО «НК «Роснефть», которые предлагают различные технические решения.

В докладе рассматриваются данные, полученные с применением высокочастотных датчиков на действующих горизонтальных скважинах, при проведении операции ГРП. Результаты анализа данных ВЧД позволяют проводить оценку геометрии трещины, параметров пласта, оценивать точки инициации трещины (интервал перфорации/открытие закрытие муфты) при проведении повторных ГРП.

Для определения точек инициации используются анализ Фурье, спектральный анализ и вейвлеты.

## Технические решения для реализации кампании ГРП 2024

*Р.Ю. Меркушин*  
(ООО «Салым Петролеум Девелопмент»)

В докладе рассматриваются успешные практики, внедренные в компании ООО «СПД» для реализации самой успешной кампании ГРП за ее историю. Всего выполнены 123 стадии, получен 1 стоп.

С целью повышения надежности и безопасности выполнения подготовительных работ (ПР) и заключительных работ (ЗР) к ГРП, а также сокращения времени ПР/ЗР к ГРП в ООО «СПД» разработана малогабаритная АГРП, позволяющая исключить монтаж на устье ПВО совместно с головкой АГРП, обеспечивая при этом необходимый уровень безопасности в соответствии с международными стандартами по ГНВП. Внедренная АГРП позволила снизить риски на проведение подготовительных и заключительных работ, а также оптимизировать работы ГРП (нет необходимости работы с площадки или АГП). Снижены расходы на проведение работ по ГРП за счет отказа от арендного оборудования.

Рассмотрен совместный с Подрядчиком по ГРП проект по внедрению устройства для сброса шаров МГРП – ИВШ, разработанный компанией ООО «СП Омега». Устройство применяется при проведении МГРП для подачи (ввода) шаров внутрь трубопровода непосредственно во время проведения операции МГРП, без остановки потока рабочей жидкости и сброса давления, устанавливается непосредственно в нагнетательную линию. Преимущества: сокращение общего времени выполнения МГРП, сокращение времени ожидания флота ГРП между стадиями, оптимизация полного цикла строительства скважин.

## **Сравнительная характеристика алюмосиликатных и магнезиально-кварцевых пропантов**

*Д.А. Михайлов, Ф.Р. Иксанов*  
(АО «Боровичский комбинат огнеупоров»)

В работе приведены результаты сравнительных испытаний алюмосиликатных и магнезиально-кварцевых пропантов после обработки кислотными растворами.

Определены зависимости сопротивления раздавливанию от времени выдержки при максимальных давлениях испытаний, а также показатели сопротивления раздавливанию и долговременной проводимости образцов.

Установлены причины лучшей устойчивости алюмосиликатных пропантов к кислотным растворам и последующим механическим нагрузкам.

## **Frac Vision – инструмент для мониторинга ГРП и предиктивной аналитики осложнений**

*У.С. Муслимов, Г.И. Матниязова, Н.Р. Гайсина (ООО «Физгео»),  
М.А. Стогов, Д.Р. Плаксин (ООО «Страта Солюшенс»)*

Целью работы является создание инструмента прогнозирования потенциальных рисков и осложнений при проведении ГРП на основе анализа многомерных данных, полученных в ходе геофизических и технологических исследований.

Инструмент основан на статистическом методе анализа текстовых и табличных данных ГРП с поиском временных рядов из набора критериев успешных и неуспешных закачек, выделением и визуализацией доверительных диапазонов значений параметров закачки ГРП в виде тепловых карт.

Уникальность и новизна решения в том, что оно позволяет снизить аварийность и НПВ при проведении ГРП (ГТМ), автоматизировать процесс принятия решений и контроля качества, а в перспективе предиктивно оценивать маркеры, определяющие изменчивость добычи и риски при ГРП, за счет цифровизации имеющегося опыта и экспертизы.

В рамках текущей работы по разработке и апробации инструмента рассмотрено более тысячи операций по ГРП на объектах ТРИЗ.

## **Вектор развития и концептуальное проектирование конструкций заканчивания скважин с МСГРП для ТРИЗ**

*А.Р. Мустафин, Д.В. Метелкин, А.В. Табунщиков  
(ООО «ГПН-ГЕО», ГК «Газпром нефть»)*

Нетрадиционные и трудноизвлекаемые запасы (ТРИЗ) с каждым днем занимают всю большую долю в общей корзине добычи ТРИЗ наряду с повышением нефтегазоотдачи.

Как правило, ТРИЗ имеют низкие фильтрационно-емкостные свойства, поэтому технологии должны обеспечивать максимальное вовлечение запасов в разработку с проведением многостадийного ГРП. Комплексирование технологических решений позволяет повысить эффективность проектов базового фонда, а также увеличить PI проектов нетрадиционных запасов. Одним из факторов повышения эффективности является снижение CAPEX не только в части бурения, но и в части наземного обустройства месторождений. Анализ зарубежного опыта работы с ТРИЗ выявил тренды на удлинение горизонта при бурении и изменение технологий заканчивания.

Опыт строительства скважин ТРИЗ в РФ (включая опыт работ ГК «Газпром нефть») выявляет следующие тренды на развитие технологии по заканчиванию скважин:

- 1) строительство многоствольных скважин с уровнем сложности TAML-3 и TAML-4 с МСГРП в каждом горизонтальном стволе;
- 2) удлинение горизонтальных скважин с многостадийным высокорасходным ГРП;
- 3) использование цементируемого заканчивания скважин с технологией PDP и P&P и кластерного МСГРП.

## Геомеханическое моделирование и исследования параметров пласта для разработки эффективного дизайна ГРП

*Р.К. Непоп (Институт геологии и минералогии  
им. В.С. Соболева СО РАН),  
Н.Ю Смирнов (ООО «ПетроГМ»)*

В условиях истощения традиционных запасов углеводородов дальнейшие перспективы развития отрасли связаны с разработкой трудноизвлекаемых запасов, к которым относятся ачимовские отложения, распространенные практически на всей территории Западной Сибири. Сложное строение и низкая проницаемость этих толщ требует применения современных технологий, включая бурение горизонтальных скважин (ГС) и проведение гидроразрыва пласта (ГРП). Однако планирование и эффективное проведение ГРП в ГС невозможно без корректного определения упруго-прочностных свойств вскрываемых отложений и действующих в горном массиве градиентов напряжений. Ключевыми инструментами для решения этих задач являются геомеханическое моделирование и керновые исследования.

Основу активно продвигаемого нами геомеханического подхода к проектированию ГРП составляет последовательная работа со свойствами породы, напряженным состоянием горного массива, технологическими параметрами закачки и, наконец, моделирование самого ГРП с учетом заложенных в симулятор моделей. При реализации такого подхода подразумевается последовательное определение соответствующих параметров геологической среды с запретом их дальнейшего изменения на последующих этапах и итерационный подбор технологических параметров.

В контексте геомеханического подхода важная роль отводится керновым исследованиям как прямому способу определения упруго-прочностных характеристик породы. Действующие в отрасли ГОСТы регламентируют проведение экспериментов на образцах из геологически однородных петрофизических групп пород, обеспечивающих эффективную схему опробования. В условиях Западной Сибири эти требования выполняются прежде всего в коллекторе. Однако учет геомеханических свойств глинистых отложений покрышек и пропластков во многом определяет корректное моделирование распространения трещины ГРП. Лабораторные исследования такого материала зачастую требуют выхода за рамки традиционных методик, регулируемых ГОСТом. Тем не менее аккуратное проведение экспериментов позволяет получить не только информацию о характеристиках собственно глинистых отложений, но выявить и оценить эффект сложного напластования.

Предлагаемый подход позволяет реализовать единый алгоритм моделирования трещин ГРП, построения дизайна и редизайна, а также сделать надежный прогноз продуктивности и оптимизировать ГРП еще на этапе его планирования. Построенные таким образом геомеханические модели имеют высокую прогнозную силу и являются эффективным инструментом повышения продуктивности ГРП, который после актуализации может использоваться на других скважинах месторождения.

## **Возможности гидродинамических исследований скважин для контроля эффективности ГРП и оценки деградации трещин в условиях низкопроницаемых коллекторов**

*А.Н. Никонорова, К.А. Ворон, А.В. Бахмутов  
(ГК «Газпром нефть»)*

Для разработки низкопроницаемых коллекторов зачастую применяют заканчивание горизонтальными скважинами с многостадийным гидроразрывом пласта (МГРП). При этом на разных объектах применяются различные технологии ГРП, отличающиеся по тонажности, расходу, концентрации, химии, типу пропанта и т.д. На одном и том же объекте могут быть протестированы различные технологии, эффективность которых возможно оценивать по промысловым исследованиям.

Основной проблематикой гидродинамических исследований в горизонтальных скважинах с МГРП в условиях низкопроницаемого коллектора является длительность исследований. По результатам моделирования установлено, что выход на псевдорadiaльный режим течения в коллекторе с проницаемостью порядка 0,1 мД прогнозируется на 50 000–60 000 часах. Однако в таких коллекторах ведущую роль при исследованиях занимает долговременный мониторинг параметров при работе скважин (технология при запуске скважины КСД – кривая стабилизации давления).

В работе приведен анализ базовых эффектов, влияющих на гидродинамические исследования скважин. В рамках проведенного анализа сформулирован инвариантный подход к оценке фильтрационно-емкостных свойств и параметров трещин ГРП по ранним режимам течения при запуске скважины.

Кроме того, представлена методика оценки деградации трещин ГРП по многоцикловым гидродинамическим исследованиям скважин. Сформирован оптимальный дизайн исследований скважин, который позволяет проводить оценку фильтрационно-емкостных параметров, а также оценку параметров трещин ГРП во времени.

Разработанные подходы применены на объектах ачимовской толщи, а также баженовской свиты. Инвариантный подход позволил уточнить свойства вышеперечисленных коллекторов, а также оценить стартовые характеристики трещин и динамику их изменения во времени.

## **Повышение информативности и комплексирование методов контроля разработки низкопроницаемых коллекторов**

*Е.П. Панарина  
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)*

В работе представлен анализ и возможности существующего комплекса исследований на ачимовских отложениях. Анализируемый объект вскрыт скважинами с горизонтальным заканчиванием с многостадийным гидравлическим разрывом пласта (МГРП). Трещины МГРП имеют как продольное, так и поперечное направление и характеризуются различной полудлиной.

Основной задачей исследования было формирование корректного комплекса промыслово-геофизических исследований (ПГИ) и гидродинамических исследований скважин (ГДИС) на примере месторождения N.

Для оценки работы и вклада трещин и эффективной работающей длины горизонта проводят промыслово-геофизические исследования, которые дают понимание о работе портов. Для оценки изменения динамики коэффициента продуктивности скважин проводят ГДИС как при работе, так и в остановленной скважине.

На анализируемом участке есть несколько горизонтальных скважин с продольными и поперечными трещинами ГРП, с разным количеством проппанта на каждую стадию.

Все скважины проанализированы при работе на фонтане и при механизированной добыче. Возможности таких исследований показаны: и при постоянном мониторинге давления на забое, и с проведением периодических замеров. По результатам таких исследований своевременно удалось установить причины снижения продуктивности. Анализ комплекса исследований ГДИС и ПГИ показал, что смесь жидкости глушения и пластовой воды образует солеотложения, в связи с чем для других скважин производился подбор новой жидкости глушения.

Комплексный подход позволил получить информацию об объекте исследования. Основываясь на нем, были подобраны ингибиторы солеотложений, которые позволили стабильно эксплуатировать скважину и оценить параметры системы скважины – пласт.

На основе проведенных работ и исследований сформирован подход к проведению информативных ГДИС в сложных условиях, даны рекомендации о записи КСД с момента ввода в эксплуатацию продолжительностью не менее полугода.

## **Импортозамещение. Опыт применения оборудования для флотов ГРП производства КНР (KERUI)**

*Д.М. Пелевин (ООО «РусГазБурение»),  
А.В. Конев (ООО «Газпром инвест» – филиал «Надым-Пур-Таз»)*

Импортозамещение оборудования для гидроразрыва пласта (ГРП) является актуальной задачей для российской нефтегазовой отрасли, особенно в условиях ограничений на поставки зарубежных технологий.

Компания KERUI является ведущим китайским производителем оборудования для нефтегазовой отрасли, специализирующимся на разработке и производстве оборудования для ГРП, активно сотрудничает с российскими предприятиями, предлагает широкий спектр современного оборудования для ГРП, включая насосные установки, смесительные установки и интеллектуальные системы управления, что позволяет эффективно проводить операции по гидроразрыву пласта и повышать производительность нефтегазовых скважин.

В докладе рассматривается опыт применения оборудования, основные его преимущества над западными аналогами, технические характеристики, проблемы и решения в процессе тестирования и наладки оборудования.

Доклад подчеркивает успешный опыт использования оборудования KERUI, его роль и перспективы в импортозамещении оборудования для ГРП в России.

## Опыт РУП «ПО «Белоруснефть» в области изучения и освоения трудноизвлекаемых запасов УВ

*П.П. Повжик*  
(РУП «ПО «Белоруснефть»)

Целью данной работы является разработка схемы комплексного изучения нетрадиционных коллекторов, их литолого-петрофизических, пиролитических, геомеханических особенностей, что является основой для эффективного заложения эксплуатационных скважин и поиска технологий промышленного освоения и разработки запасов нефти в данных коллекторах.

Основными элементами комплексного изучения залежей углеводородов в нетрадиционных коллекторах являются:

1. Анализ сейсмической информации.
2. Лабораторные исследования кернового материала.
3. Проведение геофизических исследований скважин, в том числе с привлечением современных методов.
4. Проведение микросейсмического мониторинга процесса ГРП.

Анализ кернового материала нетрадиционных коллекторов должен охватывать широкий круг исследований, начиная от изучения литолого-фациальных, петрофизических особенностей отложений, заканчивая изучением их упругих и прочностных свойств. Неотъемлемой частью лабораторных исследований является проведение геохимического анализа пород и флюидов, в том числе пиролитические исследования.

Источником информации о направлении максимального и минимального стрессов могут служить результаты микросейсмического мониторинга (МСМ) процесса ГРП. При этом проводится ГИС как до ГРП, так и после него, что позволяет определить интервалы образования трещин ГРП и их азимутальное направление и сопоставить с результатами МСМ.

Комплексирование полученных на различных этапах изучения нетрадиционных коллекторов позволяет выявить наиболее перспективные зоны с точки зрения содержания органического вещества, минералогического состава, фильтрационно-емкостных свойств, а также показателей хрупкости породы.

### **Результаты, выводы.**

В рамках комплексного изучения нетрадиционных коллекторов I–III пачки Речицкого месторождения удалось изучить литолого-петрофизические, пиролитические, геомеханические особенности строения, на основании которого более уверенно заложить бурение скважин с горизонтальным окончанием и проведением многостадийного ГРП.

Результаты комплексного изучения отложений I–III пачки Речицкого месторождения подтвердили перспективы получения промышленного притока нефти из нетрадиционных коллекторов, что подтверждено бурением и освоением опережающих эксплуатационных скважин. По результатам полученных данных скорректирована программа бурения эксплуатационных скважин, а также предложены мероприятия по оптимизации проведения многостадийного гидроразрыва пласта, что позволило существенно нарастить входные дебиты нефти по скважинам (до 140 т/сут.).

Впервые для нетрадиционных коллекторов Припятского прогиба, относящихся к породам «доманикового» типа, сформирован перечень необходимых исследований для комплексного изучения и эффективного освоения данных отложений.

## **Композиции пролонгированного действия для кислотной обработки терригенных пород**

*Н.А. Прокудина, А.С. Габисов, А.А. Борисенко, А.В. Бондарь  
(Апрелевское отделение ВНИГНИ)*

Разработаны композиции пролонгированного действия для кислотной обработки терригенных пород. Под действием этих композиций происходит выщелачивание карбонатных и глинистых цементирующих связей и образуются протяженные каналы фильтрации. Композиции обладают низкой коррозионной активностью, предотвращают вторичное осадкообразование и кольматацию пор.

Эффективность применения композиций подтверждена результатами лабораторных фильтрационных исследований. После обработки образцов керна тюменской свиты Новомостовского месторождения (Ханты-Мансийский автономный округ, Западная Сибирь) в пластовых условиях их проницаемость возросла в 3 раза, тогда как после грязевой кислоты – в 1,1 раза.

Композиции готовят на месте с использованием сухих промышленно выпускаемых ингредиентов и доступной воды (природной, пластовой и пр.). Сухие ингредиенты не требуют специальных условий хранения и удобны для транспортировки на промысловые объекты, в том числе расположенные на значительном удалении.

## **Анализ эффективности применяемых технологий ГРП на скважинах участков 4А и 5А ачимовских отложений Уренгойского НГКМ**

*И.В. Протасевич, Д.Н. Шемякин  
(ООО «Ачим Девелопмент»)*

ООО «Ачим Девелопмент» является оператором по разработке и эксплуатации ачимовских отложений, участков 4А и 5А Уренгойского НГКМ, являющиеся в настоящее время одними наиболее сложными объектами разработки севера Западной Сибири.

В связи с возрастающей долей трудноизвлекаемых запасов на рынке углеводородов важную роль при разработке таких месторождений играют различные современные технологии воздействия на целевые пласты.

Одним из наиболее востребованных методов интенсификации притока в скважинах ачимовских отложений, в соответствии с актуальными проектными решениями, является метод гидравлического разрыва пласта (ГРП), представленный технологиями стандартного большеобъемного и кластерного ГРП, а также их разнообразными вариациями.

Задачи, поставленные текущей работой, – это проведение анализа эффективности выполненных ГРП на пологих и наклонно-направленных скважинах, подбор оптимальной стратегии ГРП для максимизации притока и извлечения углеводородов, снижение риска прорыва гидравлического разрыва в нецелевые пласты и зоны.

В докладе отражены результаты анализа фактических показателей работы скважин по выполненным технологиям ГРП, зависимости индекса продуктивности ГРП от эффективной мощности пласта, использования проппанта с полимерным покрытием для закрепления трещины ГРП и высокопрочного проппанта различной размерности и производителя.

Выполненный анализ выноса механических примесей после проведенных ГРП с различным долевым применением проппанта с полимерным покрытием (далее – RCP) позволяет в дальнейшем сократить долю RCP с 30 до 10 % от общего объема используемого проппанта, что в свою очередь приведет к удешевлению себестоимости проведения работ по ГРП и снижению гидродинамических фильтрационных сопротивлений в околоскважинной зоне пласта.

В том числе была проведена работа по оценке влияния дополнительной перфорации на эффективность работы скважин после ГРП.

С целью динамического мониторинга профиля притока скважины и оценки работоспособности разных зон закрепленных трещин ГРП на 2 скважинах участков 4А и 5А применена технология маркированного проппанта. Текущие результаты по данным исследованиям также представлены в настоящей работе.

## Опыт применения гидравлического разрыва в горизонтальных скважинах на участках неэффективной проходки по пласту

*В.Ф. Пызыков*  
(ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»)

Проблематика: наличие значительных участков неэффективной проходки вдоль горизонтального ствола, в которых не принято размещать порты для ГРП.

Предпосылки к изучению: сопоставимые показатели эксплуатации скважин с проходкой по нескольким интервалам неколлектора со скважинами, где эффективность проходки по коллектору гораздо выше.

Объектом исследования являются верхнеюрские отложения Тевлинско-Русскинского месторождения. В разрезе пласта сосредоточено 14 % от суммарных начальных геологических запасов нефти всего месторождения. Преобладающим (35 %) является часто переслаивающийся тип разреза с преобладанием коллектора над неколлектором. Большая часть (34 %) коллекторов ЮС<sub>1</sub><sup>1</sup> представлена проницаемостью в диапазоне от 1 до  $3 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Выделяют три основные составляющие, определяющие продуктивность ГС с МГРП: качество резервуара, качество бурения и качество заканчивания.

В условиях пласта ЮС<sub>1</sub><sup>1</sup> Тевлинско-Русскинского месторождения участки неколлектора вдоль горизонтального ствола отделены от продуктивной части по вертикали ограничивающим непроницаемым барьером толщиной, не превышающей в среднем 5 м. Усилие, создаваемое мощными насосами ГРП, позволяет трещине из интервала неколлектора прорваться в продуктивную часть пласта, а ее закрепление пропантом обеспечивает сохранение гидродинамической связи на длительное время.

Проведение в ходе обработки непроницаемых участков ствола тестовых закачек с пробной пачкой пропанта для оценки гидродинамической связи и калибровки модели, как правило, показывает удовлетворительная связь с пластом, что позволяет провести основную операцию ГРП без осложнений и вовлечь в разработку его продуктивную часть.

## **Модель влияния нестационарных и нелинейных эффектов на проводимость трещин ГРП для нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений**

*Д.А. Самоловов  
(ГК «Газпром нефть»)*

Существующий подход к оценке проводимости трещины ГРП не всегда однозначно описывает фактические данные эксплуатации, особенно для газоконденсатных месторождений. Возможные причины подобного несоответствия – отсутствие учета нестационарных эффектов, возникающих при течении в пласте, и недостаточно строгий учет нелинейных эффектов, возникающих при течении в трещине. Цель работы – разработка методики, позволяющей оценивать проводимость трещин ГРП с учетом нестационарных и нелинейных эффектов.

В работе используется разработанная автором аналитическая безразмерная модель течения в трещине ГРП. Управляющие параметры модели – безразмерная проводимость и безразмерный D-фактор. В работе показано, что классический подход к описанию проводимости трещины ГРП через отношение проводимостей пласта и трещины требует корректировки. Предлагается учитывать в расчете безразмерной проводимости нестационарные эффекты, возникающие при течении в пласте, а также принимать во внимание величину безразмерного D-фактора, продемонстрирована необходимость подобных корректировок. Кроме того, в работе показано, что газовые скважины с трещинами ГРП могут иметь существенное значение D-фактора, связанного с нелинейным течением в упаковке проппанта.

Результаты работы могут использоваться при дизайне процесса гидро разрыва, при проектировании разработки месторождений скважинами с трещинами ГРП, а также при выборе подходящих методов моделирования ГРП как в аналитических моделях, так и в гидродинамических симуляторах.

## **Жидкости гидроразрыва пласта на основе простых эфиров целлюлозы**

*М.А. Силин, С.А. Бородин, Н.Д. Смирнов  
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)*

На сегодняшний день подавляющее число операций гидроразрыва пласта (ГРП) выполняется с использованием технологических жидкостей на водной основе. В основе таких жидкостей используется широкий спектр гелеобразователей. В качестве гелеобразователей выступают различные водорастворимые полимеры (ВРП), среди которых особое распространение получили гуаровая камедь, полиакриламид и их химические модификации. Стоит отметить, что данные химические реагенты в основном импортируются в Россию. Изменение логистических маршрутов из-за геополитической обстановки в ряде регионов негативно отражается на структуре поставок и соответственно стоимости реагентов для ГРП. Таким образом, встает вопрос о поиске возможной альтернативы.

В качестве возможной альтернативы жидкостям ГРП на основе гуара и полиакриламида могут выступать жидкости на основе продуктов химической модификации целлюлозы. Данные ВРП активно применяются в значимых отраслях экономики, в частности в нефтегазодобывающей отрасли в качестве компонентов буровых растворов, тампонажных материалов, в составах для ремонтно-изоляционных работ и для повышения нефтеотдачи пластов. Основным преимуществом простых эфиров целлюлозы (ПЭЦ) является наличие на территории России широкой сырьевой базы и производственных мощностей, свыше 10 предприятий, выпускающих готовую продукцию с широким спектром технологических свойств.

В РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина проводятся работы, связанные с исследованием возможности применения различных марок карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и полианионной целлюлозы (ПАЦ) в технологических жидкостях ГРП. Основными направлениями работы являются исследование технологических свойств растворов ПЭЦ, подбор компонентов для создания жидкости ГРП и их исследование в различных условиях. Основными сложностями являются отсутствие накопленной базы данных по исследованию растворов ПЭЦ для технологии ГРП, подобранных реагентов и рецептур жидкостей ГРП на основе ПЭЦ.

Полученные предварительные результаты показывают, что КМЦ и ПАЦ могут применяться в качестве альтернативных гелеобразующих агентов, демонстрирующих устойчивость и способность к переносу расклинивающего материала в условиях повышенных температур. Результаты данных исследований в перспективе позволят использовать отечественную продукцию для создания жидкостей гидроразрыва на водной основе. Подобные исследования имеют практическую ценность и требуют дальнейшего развития.

## **Инновационный исследовательский комплекс для решения задач освоения нетрадиционных и трудноизвлекаемых ресурсов на объектах ПАО «Газпром»**

*А.Ф. Соколов, В.М. Троицкий, А.В. Мизин, В.П. Ваньков, А.Е. Алеманов, А.С. Рассохин, С.В. Малышев, О.М. Монахова, Б.Б. Нугаев  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработана и реализована принципиально новая концепция универсального комплекса оборудования, предназначенного для специальных исследований керна, моделирования фильтрационных процессов и методов воздействия на пористую среду в термобарических условиях залегания пласта (далее – Комплекс).

Комплекс позволяет проводить наиболее востребованные при разработке месторождений оценки технологических параметров, создания гидродинамических моделей и проектов разработки месторождений, экспериментальные исследования фильтрационно-емкостных, механических и деформационных свойств горных пород и цементного камня, проводить моделирование ГРП в широком диапазоне термобарических условий.

Разработанный Комплекс оборудования соответствует современным стандартам, классам точности, предъявляемым к полноте и достоверности результатов исследований кернового материала и пластовых флюидов.

Внедрение Комплекса в центрах исследований пластовых систем ПАО «Газпром» позволяет существенно снизить зависимость нефтегазовой отрасли от поставок импортного лабораторного оборудования и комплектующих.

Предлагаемое экспериментальное оборудование позволяет решать следующие научно-исследовательские задачи:

- моделирование процессов многофазной многокомпонентной фильтрации в широком диапазоне термобарических условий и скоростей движения флюидов в пористой среде с целью отработки технологий освоения нетрадиционных и трудноизвлекаемых запасов;
- разработка технологий физико-химического, механико-деформационного воздействия на пластовую систему с целью увеличения компонентоотдачи пласта;
- создание геомеханических моделей с помощью программного комплекса и привязки к объекту тестирования: месторождение – куст – скважина;
- обоснование методов нефтегазоконденсатоотдачи на поздних стадиях разработки месторождений;
- исследование влияния различных технологических жидкостей на фильтрационно-емкостные свойства коллектора;
- разработка технологий интенсификации работы скважин, повышения их приемистости, продуктивности и безаварийности (кислотные обработки и гидроразрыв пласта).

Современный уровень разработанного Комплекса, его новизна и существенные отличия подтверждаются полученными патентами.

В настоящее время выполнен большой объем работ по оценке воздействия технологических жидкостей на проницаемость коллектора в термобарических условиях Чайнинского НГКМ, включая входной контроль технологических параметров буровых растворов, тестирование совместимости буровых растворов с различными технологическими жидкостями, в том числе и жидкостями ГРП, экспериментальные определения базовой и остаточной проницаемости/проводимости пропантных упаковок с использованием жидкостей гидро-разрыва пласта.

С помощью Комплекса проводятся комплексные экспериментальные исследования на керновом материале по определению возможности образования газовых гидратов в породах-коллекторах в пластовых условиях (месторождение Медвежье).

## ГРП на ПАА: критерии, опыт, локализация

*Д.А. Старицин, Р.Р. Гайнетдинов, А.В. Чураков,  
(ГК «Газпром нефть»)*

Опыт производства работ по ГРП на ПАА в ГК «Газпром нефть» берет начало с 2019 г. К 2022 г было испытано более 7 различных полимеров и подтверждена заинтересованность в разработке нормативного документа с формализацией требований к ПАА, а также к локализации производства данного вида полимеров.

Сложность разработки НМД заключалась в малой изученности свойств ПАА для ГРП и взаимозависимости нескольких ключевых параметров.

НМД был разработан и с 2023 г используется как при выборе ПАА для ГРП, так и непосредственно при производстве работ.

Стоит отметить, что формулирование требований к вязкостным характеристикам жидкости проводилось не только лабораторно-аналитическими методами и моделированием, но и производством работ на заведомо низких концентрациях ПАА.

Подход к производству работ, начиная с 2019 г., претерпел существенные изменения: дизайны стали более агрессивными, тоннажи закачки и фракционные составы увеличены. При этом большое внимание уделено деструкторам. Это обусловлено результатами керновых испытаний, которые подтверждают снижение остаточной проницаемости кернового материала при увеличении концентрации полимера как в случае ПАА, так и в случае гуаро-боратной системы.

Подтвердив полевыми испытаниями работоспособность требований к ПАА, мы приступили к локализации ПАА, предварительно преодолев ряд барьеров, которые неизбежно возникают при подобного рода задачах. Заинтересованность в локализации проявила компания ООО НПП «КФ», на производственных мощностях которой был выпущен продукт КВП-В(2). Данный продукт имел отклонения от рекомендуемых параметров НМД, тем не менее были проведены его полевые испытания.

Испытания в полях показали, что применение КВП-В(2) несет ряд рисков, одним из которых являются существенно более высокие трения жидкости и устьевые давления.

Результатом доработки, которая осуществлена путем изменения параметров синтеза, явился ПАА КВП-В(3), который несколько уступал по вязкостным характеристикам, но при этом соответствовал всем требованиям ГК «Газпром нефть» к ПАА. ГРП с применением КВП-В(3) проведен успешно, трения жидкости и вязкостные параметры продукта соответствовали ожиданиям.

При сравнительном анализе свойств КВП-В(2) и КВП-В(3) становится явно видно, что изменение параметров синтеза и несущественное изменение соотношений компонентов привело к качественному изменению реологических характеристик полимера и его скорости гидратации. При более детальном рассмотрении зависимости вязкости от скорости сдвига можно заключить, что КВП-В(3) имеет меньшее молекулярно-массовое распределение при одновременно

возросшей средней молекулярной массе. Помимо этого, существенно изменились и вязко-эластичные свойства гелей на основе КВП-В(3) – наблюдается линейный диапазон вязко-эластичных свойств, в котором модуль накоплений  $G'$  существенно превосходит модуль потерь  $G''$ , что позволяет гелю восстанавливать свою структуру при снятии нагрузки и эффективно переносить пропант на стандартных темпах закачки.

В настоящее время в ГК «Газпром нефть» тиражируется технология ГРП на ПАА с применением химических продуктов, соответствующих требованиям НМД, а количество работ увеличивается год от года.

В 2024 г. был разработан и успешно испытан локализованный ПАА КВП-В(3).

Лабораторными испытаниями подтверждено, что жидкости на основе ПАА требуют использования деструкторов, так как являются кольматантами порового пространства.

Для формирования рентабельного мероприятия, получения оптимальных геометрических параметров трещины ГРП, достижения удовлетворительной пропантонесущей способности жидкости ГРП при контроле кольматирующего воздействия на пласт требуется производить подбор ПАА, чтобы он способен был решать данные задачи при минимальных концентрациях.

На сегодняшний день можно сказать, что дополнительная накопленная добыча нефти подтверждена только на скважинах с общей мощностью пласта менее 25 м или при производстве работ на повышенных темпах закачки. Вследствие этого в рамках поиска альтернативы сшитым гуаро-боратным системам планируются испытания сшитых ПАА, системы жидкости ГРП, имеющей потенциал локализации.

## **Влияние стоимости ГРП на формирование эффективного бизнес-кейса ТРИЗ**

*А.В. Табунщиков, Е.С. Тюгаева, А.Н. Рымаренко, Ю.С. Березовский  
(ООО «ГПН-ГЕО», ГК «Газпром нефть»)*

Эффективность разработки нефтегазовых месторождений зависит от оптимизации технологий интенсификации добычи, среди которых ключевую роль играет гидроразрыв пласта (ГРП). Данное исследование посвящено анализу влияния стоимости ГРП на формирование эффективного бизнес-кейса при разработке трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ).

Проведенная региональная кластеризация по геолого-геомеханическим признакам ачимовской толщи определила два основных региона: Северный и Южный. Северный регион характеризуется повышенными значениями пластового давления (АВПД), высокой пластовой температуры (АВПТ) и большей глубиной залегания пластов, что усложняет проведение ГРП и увеличивает его стоимость. Южный регион имеет более умеренные геологические параметры, снижая технические сложности и затраты на ГРП.

Анализ стоимости операций ГРП в каждом регионе, основанный на количестве гарантированных операций в контрактах с сервисными компаниями, показал, что в Северном регионе стоимость единичной операции выше. Однако крупные объемы работ позволяют оптимизировать затраты через объем. В Южном регионе более низкие технические риски способствуют снижению стоимости ГРП и эффективному планированию бюджетов проектов.

Дополнительно исследованы стоимости высокотехнологичных операций ГРП, таких как высокорасходные ГРП, использование синтетических гелеобразователей и гибридные закачки на гуаровой основе. Внедрение этих технологий в Северном регионе может увеличить стоимость операций, но без них невозможно достичь необходимой эффективности бизнес-кейсов объектов ТРИЗ. В Южном регионе применение подобных технологий должно быть тщательно обосновано с экономической точки зрения.

Использование технологических рычагов ГРП, включая инновационные методы разрыва и оптимизацию рецептур жидкостей, позволяет повысить производительность скважин несмотря на возможное увеличение капитальных затрат. Это улучшает экономические показатели проектов, увеличивая доходность и сокращая срок окупаемости.

Таким образом, стоимость и эффективность операций ГРП являются критическими факторами при формировании эффективного бизнес-кейса ТРИЗ. Работа с трудноизвлекаемыми запасами требует преодоления противоречий между необходимостью использования дорогостоящих технологий и стремлением снизить затраты. Применение оптимизированных подходов к разработке ТРИЗ и стоимостной инжиниринг позволяют повысить эффективность крупных нефтегазовых проектов.

## **Реологические исследования гелей на основе полиакриламида для процессов ГРП**

*А.А. Филатов  
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)*

На базе лабораторий ОНЦМУ «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты» находится более пяти различных видов реометров для измерения реологических свойств жидкостей для интенсификации и добычи нефти и газа. Среди них реометры марок Grace, Anton Paar и Fann. Для исследования полиакриламидных гелей ГРП используются два основных режима измерения – ротационный (вращательный) и осцилляционный (колебательный). Ротационный режим закрепился как основной метод исследования жидкостей ГРП на протяжении десятилетий и прописан в стандарте ISO13503. Однако для систем на основе полиакриламида все чаще проводят исследования при осцилляционном режиме. В этом режиме измерения можно подробно выявить влияние различных факторов на свойства раствора: температура, минерализация, молекулярный вес молекул и т.д. Параметры, полученные при осцилляционных исследованиях не только для полиакриламидных гелей, но и для других систем, позволяют более точно предсказать песконесущие и пескоудерживающие способности гелей для любых видов проппанта и песка; с помощью этого вида исследований можно ответить на вопрос, почему раствор ПАА с вязкостью 100 сП удерживает проппант лучше, чем гуаровый гель с вязкостью 800 сП.

## **Мониторинг профиля и состава притока горизонтальных скважин с МГРП с применением маркированного полимернопокрытого пропанта: эволюция технологии и подходов**

*В.В. Хамидуллин, О.А. Горбоконеко  
(ООО «ГеоСплит»)*

Обеспечение устойчивой и эффективной выработки запасов после проведения МГРП в горизонтальных скважинах газоконденсатных месторождений является важным технологическим вызовом. Для обеспечения вышеуказанной цели необходимо применять проектные решения в области разработки месторождений и проведения МГРП, подтвержденные фактической промыслово-геофизической информацией о работе скважин.

Одним из признанных отраслевых стандартов промыслово-геофизического контроля работы горизонтальных скважин с МГРП, в том числе в условиях трудноизвлекаемых запасов, является технология применения маркированного пропанта, позволяющая получать массив информации о профиле и составе притока по трещинам ГРП в долгосрочном периоде без остановки добычи.

В настоящее время с применением данной технологии в РФ успешно реализованы комплексные проекты по решению следующих промысловых задач:

- 1) определение оптимального тоннажа пропанта на стадию и геометрических параметров трещин ГРП по соотношению длина – высота;
- 2) оценка интерференции трещин ГРП с целью определения оптимального расстояния между портами ГРП;
- 3) определение оптимальной проходки горизонтального ствола (азимутальный угол, зенитный угол, извилистость) и ориентации трещин ГРП относительно регионального стресса с изучением влияния данных факторов на равномерность выработки запасов по горизонтальному стволу в долгосрочном периоде;
- 4) изучение влияния близости ГВК и других геологических условий на эффективность работы трещин ГРП и др.

По каждому проекту накоплена база знаний и методологических подходов, позволяющая масштабировать реализацию решений аналогичных задач у других недропользователей.

Также за период 2022–2025 гг. проведена обширная работа по технологическим улучшениям с целью обеспечения высокой достоверности получаемой диагностической информации в широком диапазоне термобарических и гидродинамических условий работы скважин. По результатам данных работ технология применения маркированного пропанта переведена в промышленное внедрение в ведущих нефтегазодобывающих ВИНК.

## **Разработка баженовской свиты с МГРП на Пальяновской площади Красноленинского месторождения**

*Д.А. Чаплыгин*

*(ООО «Газпромнефть – Технологические партнерства»)*

На баженовскую свиту Пальяновской площади Красноленинского месторождения пробурено более 50 горизонтальных скважин с МГРП. В течение работы по проекту было пройдено несколько этапов развития технологий с постепенной реализацией технологической независимости.

В докладе рассказывается о пройденном пути экстенсивного увеличения технологической сложности скважин и о полученных результатах.

Проект «Пальян», разрабатываемый на Пальяновской площади ХМАО, стартовал в 1971 году с открытия месторождения. Ключевые этапы включают промышленную разработку (1992), старт эксплуатации (2016) и получение лицензии на технический полигон (2021). Основные цели – снижение геолого-технологических рисков и неопределенностей освоения баженовской свиты, апробация отечественных технологий добычи и создание инновационной научно-исследовательской экосистемы.

Проект сталкивается с высокой сложностью коллектора: низкой проницаемостью (0,002 мД), температурой до 115 °С, вертикальной неоднородностью и разбросом результатов тестовых закачек. Дополнительные трудности включают высокую стоимость бурения, санкционные ограничения, отсутствие исторических данных и необходимость оптимизации стандартных подходов. Эти факторы требуют разработки специализированных решений для освоения скважин с гидроразрывом пласта.

Для преодоления сложностей применяются высокорасходные МГРП, проведены испытания с жидкостями на основе ПАА и ксантановой камеди, а также эксперименты с расклинивающими агентами. Лабораторные исследования (2023) позволили оптимизировать составы жидкостей и режимы закачки. Внедрены гибридные подходы к закачке, увеличены расходы (до 16 м<sup>3</sup>/мин) и доля расклинивающего агента на невязких жидкостях. Результаты включают улучшение долговременной проводимости трещин, снижение риска прорыва барьеров и повышение эффективности добычи. Однако сохраняются риски быстрой деградации системы трещин и ограничения в оптимизации ГРП, что требует дальнейших исследований.

## **Текущий опыт применения и развития технологий ГРП на месторождениях ООО «Газпромнефть-Хантос» в условиях ухудшения качества запасов углеводородов**

*Н.В. Чебыкин  
(ООО «Газпромнефть-Хантос»)*

ООО «Газпромнефть-Хантос» (далее – Общество) является лидирующим активом ПАО «Газпром нефть» в части добычи жидких углеводородов с годовой добычей более 14 млн то. В настоящее время основная деятельность Общества сосредоточена на месторождениях, находящихся в ХМАО – Югре и юге Тюменской области. Для поддержания такого уровня добычи ежегодно выполняются более 400 ГТМ и более 2600 операций ГРП.

Основной проблематикой в последнее время стало стремительное ухудшение ФЕС пластов и, как следствие, ухудшение качества запасов УВ. Для разработки низкопроницаемых коллекторов зачастую применяют заканчивание горизонтальными скважинами с многостадийным гидроразрывом пласта (МГРП). Для поддержания уровня окупаемости разработки краевых частей месторождений и участков с трудноизвлекаемыми запасами Общество непрерывно повышает технологичность скважин, трансформирует систему разработки и уделяет повышенное внимание развитию технологий ГРП.

В работе приведена эволюция подходов к технологиям заканчивания и ГРП. Представлен обширный опыт применения различных подходов, позволяющих повысить эффективность стимуляции пласта как с точки зрения повышения продуктивности трещины, так и снижения стоимости работ. Так, например, успешный опыт применения кварцевого природного песка в качестве частичной замены керамического пропанта позволяет снизить затраты на материалы для строительства скважин на 12 %.

Изменение организационного подхода к процессу освоения скважин и проведения ГРП с применением подходов «кластерного» ввода запасов и проекта «Аструм» на автономном месторождении им. А. Жагина позволило последовательно увеличивать удельную выработку флота ГРП и поставить отраслевой рекорд – выполнение 235 операций одним флотом за календарный месяц. Кроме ускорения ввода скважин получен и экономический эффект от внедрения дифференцированной шкалы дисконтирования стоимости работ.

Разработанные подходы позволяют вовлекать остаточные трудноизвлекаемые запасы, ранее считавшиеся нерентабельными, и повышать эффективность разработки месторождений.

## **Производство и применение сшивающих агентов с использованием отечественного сырья**

*А.М. Чиркова, Д.Ю. Кабанов, А.В. Сивоконь  
(ООО «Химико-технологическая компания «Траст»)*

В связи с возникшими трудностями поставок молотого улексита компанией Global Trade – официальным дистрибьютором Eti Maden I.G.M. (Турция) на территории Российской Федерации квалифицированными специалистами компании «Траст» был разработан сшивающий агент, в состав которого входит только сырье отечественного производства.

Заказчикам компании в рамках импортозамещения, с целью недопущения простоев флотов ГРП и бесперебойной работы по производству ГРП на лицензионных участках было предложено использование сшивателей на безулекситной основе. Реологическое тестирование системы при различных температурах на дистиллированной воде с использованием безулекситных сшивателей и тестирование на сдвиговые нагрузки показали достаточное время стабильности системы и восстановление системы до 60 сек. Сравнительное тестирование реологических свойств жидкости с использованием безулекситного и улекситного сшивателей при температуре пласта 90 °С показало идентичную работу систем.

Безулекситные системы были протестированы в лабораториях заказчиков на воде источников. Результаты тестирований были также удовлетворительные. После получения удовлетворительных результатов лабораторных испытаний заказчиками были проведены операции по закачке данной системы и получены графики закачки, которые в свою очередь идентичны графикам закачки при использовании улекситных сшивателей.

Следует отметить, что при использовании жидкого безулекситного сшивателя при производстве ГРП подачу химического реагента необходимо осуществлять при помощи шнекового насоса ввиду того, что частицы сырья имеют более крупную фракцию, нежели улексит. Возможным решением данной проблемы является использование дополнительного помола сырья.

Время сшивки системы на безулекситных сшивателях меньше, чем на улекситных (от 80 сек) и варьируется от 40 до 70 сек в зависимости от воды источника. Для увеличения времени сшивания предлагается использование дополнительной добавки как в сухой, так и в жидкой форме, в концентрациях от 0,5 кг/м<sup>3</sup> и от 2,0 л/м<sup>3</sup> соответственно.

Проведенные испытания систем с использованием безулекситных сшивателей и операции по закачке показали, что данные химические реагенты могут быть использованы заказчиками при производстве ГРП. При этом использование сухого сшивателя подразумевает его загрузку от 0,5 кг/м<sup>3</sup> (в зависимости от температуры пласта, необходимой стабильности и пр.) при наличии технической возможности его подачи, вместе с тем и стоимость данного сшивателя меньше по сравнению с жидким, что с финансовой точки зрения позволит сэкономить заказчикам. Разница жидкого безулекситного сшивающего агента от улекситного сшивающего агента, с точки зрения подачи, – только в наличии во флотах ГРП шнекового насоса, в остальном отличий в его подаче нет.

## Оптимизация дизайна ГРП в газоконденсатных пластах за счет снижения инерционных фильтрационных сопротивлений

*А.Н. Шандрыгин (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
Г.Д. Хашан, З.Р. Саптарова, С.А. Усманов, В.А. Судаков  
(Казанский (Приволжский) федеральный университет)*

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одним из эффективных методов повышения продуктивности скважин в низкопроницаемых газоконденсатных пластах. Проектирование дизайна ГРП производится по отработанным методикам и является в целом стандартным процессом. Однако в случае газоконденсатных пластов не учитывается влияние на продуктивность скважин инерционных составляющих фильтрационного сопротивления, которые зависят от характеристик проппанта, а также насыщенности трещины ГРП выпавшим из пластового газа конденсатом.

Для исследования влияния параметров трещины ГРП на продуктивность скважин в газоконденсатных залежах построена двухмерная (2D) секторная композиционная модель в tНавигаторе (ИРМ). Ее размеры составляют 1000×1000 м, применена равномерная сетка с локальным измельчением (LGR) в районе скважины и трещины, трещина ГРП задана ячейками шириной 1-2 см. ФЕС и ОФП пласта приняты в соответствии с данными, характерными для ачимовских отложений одного из месторождений Западной Сибири. Рассмотрены различные по составу газоконденсатные системы с начальным потенциальным содержанием в интервале от 200 до 350 г/м<sup>3</sup>. Исследовано влияние параметров трещины ГРП: раскрытость (ширина), mesh проппанта (соответственно его проницаемость), длина. ОФП в трещине ГРП приняты по литературным данным для несцементированных пористых сред.

Коэффициент макрошероховатости ( $\beta$ ), определяющий величину инерционных сопротивлений, задан в виде нескольких различных зависимостей от пористости и проницаемости проппанта для случая однофазной фильтрации и, в дополнение к ним, от ОФП и насыщенности среды жидкостью при двухфазной фильтрации газа и жидкости. Зависимости подобраны на основе анализа существующих в настоящее время литературных данных.

На основе выполненных расчетов показано влияние mesh проппанта, а также пористости и проницаемости трещины ГРП на продуктивность скважин при определенных режимах эксплуатации ввиду проявления инерционных сопротивлений. Как результат, продуктивность скважины может существенно меняться для одних и тех же значений параметра  $F_{cd}$ . Также установлено, что инерционные сопротивления растут при появлении в трещине ГРП конденсата, уменьшая продуктивность скважин. Это указывает на необходимость выполнения дизайна трещины ГРП с учетом характеристик пластового газа.

По итогу выработаны предварительные рекомендации по дизайну ГРП, режимам эксплуатации скважин в газоконденсатных залежах для повышения их производительности.

## Молекулярный дизайн ГРП как способ решения проблем недоочистки трещины ГРП

*Е.В. Шель*  
(ГК «Газпром нефть»)

Одной из ключевых проблем в работе ГС с МГРП является факт не достижения ими плановых показателей эффективности ГРП, что проявляется как в более низких эффективных полудлинах трещин ГРП по ГДИС, так и в не достижении плановых показателей по долгосрочному дебиту скважин. Одной из ключевых гипотез, объясняющей эту проблему, является недоочистка трещин ГРП от недоразрушенного геля ГРП при выводе скважины на режим. В этом случае, у жидкости может наблюдаться такая характеристика как предел сдвига, что ведет к требованию наличия некоторого критического градиента давления, при котором жидкость может течь в пористой среде.

Для решения этой проблемы была разработана технология. Для каждого объема жидкости, закачиваемой в ходе ГРП в какой-то временной промежутке, симулятор ГРП может вычислить следующие параметры: распределение данной жидкости по плоскости трещины, текущую долю данной жидкости, оставшуюся в трещине на любой момент времени проведения ГРП, среднюю, максимальную и минимальную температуру. По этим данным, зная рецептуру жидкости (концентрацию брейкера, гуара, сшивателя), и пользуясь эмпирическими зависимостями на скорость реакции брейкера, можно вычислить текущую молекулярную массу геля ГРП в этом объеме жидкости. По молекулярной массе гуарового геля, концентрации гуара и сшивателя, а также температуре – можно вычислить основные реологические параметры геля ГРП, поэтому технология и была названа «молекулярный дизайн».

## Оценка чувствительности эффекта от МГРП и геомеханических характеристик горной породы на терригенном объекте Восточной Сибири

*А.В. Янышевский, А.В. Глазырина, С.В. Лукин  
(ООО «Газпромнефть НТЦ»)*

Рассматриваемое месторождение приурочено к Непскому своду НБА. Венд-кембрийский комплекс включает в себя 5 основных продуктивных объектов: 2 в терригенной части и 3 в карбонатной.

Технологические решения для рассматриваемого объекта разработки:

1. ГС 1900 м с МГРП 7 стадий по 100 т.
2. ГРП на сшитом геле.
3. Ориентация системы разработки по  $SH_{max}$ .
4. Межрядное расстояние 700 м.

Ключевыми геомеханическими особенностями объекта разработки являются: низкая выраженность контраста напряжений и пониженное пластовое давление (90 % от гидростатического). Как следствие, для успешной интенсификации притока данные особенности формируют риски:

1. Приобщение нецелевых интервалов даже при минимальном объеме закачки.

2. Наличие пласта с пониженными напряжениями в совокупности с низким контрастом перемычки над целевым объектом создает предпосылки для закрепления трещины ГРП вне целевого интервала.

3. Сложности формирования целевой полудлины трещины ГРП для максимизации добычи.

4. Формирование сегментированных по латерали трещин ГРП с кратно отличающейся проводимостью.

ФЕС пласта в районе горизонтальных скважин с закачкой 125 и 10 т/стадию верифицированы с высокой степенью достоверности, по данным ГДИ, и соотносятся на качественном уровне с РИГИС.

При классическом подходе в расчетах на гидродинамической модели используются усредненные параметры трещины ГРП, по результатам которых отмечается пропорциональный рост продуктивности и НДН от увеличения тоннажа.

В материале приводится пример реализации подхода, учитывающего инициализацию в модели сложной конфигурации трещины за счет применения сеток Вороного для достижения цели повышения прогнозной способности модели и выбора оптимального технологического решения для региона или сектора работ.

В результате выполненных расчетов были получены отличия между усредненными и детализированными параметрами трещины ГРП и показаны отличия в расчете прогнозной добычи в 80 % по НДН и 17 % по НДЖ. В дальнейшем планируется выполнить процедуру валидации расчетов на секторной модели плановых КП.