



**Технология ГС с МГРП для повышения
эффективности разработки пластов Покурской свиты**
Лапин К.Г., Павлов В.А., Павлюков Н.А.
ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

XIX научно-практическая
конференция «Геология и
разработка месторождений с
трудноизвлекаемыми
запасами»,
Анапа, 24-26.09.2019



Особенности пластов ПК

- Высокая вязкость нефти (100–400 сП)
- Слабосцементированный коллектор
- Обширная газовая шапка
- Сложное геологическое строение

Проблематика разработки пластов ПК

- Низкий КИН
- Прорывы газа из газовой шапки
- «Кинжальные» прорывы воды при заводнении
- Активный вынос песка, снижение дебита



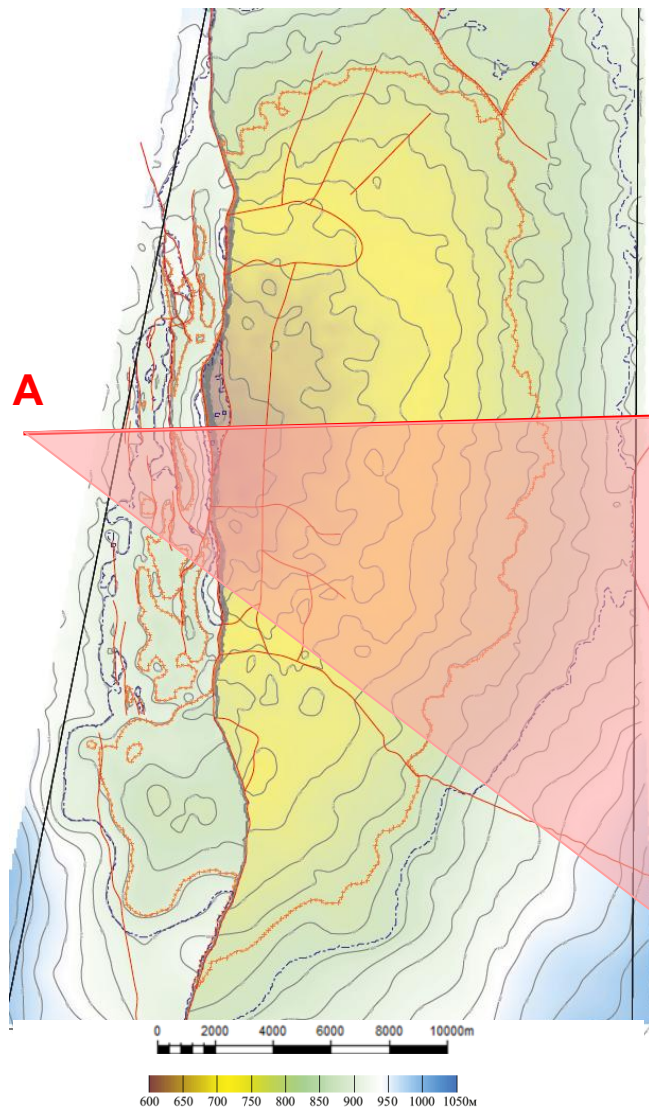
В компании Роснефть реализуется проект, направленный на повышение эффективной разработки пластов ПК:

- Технологии эффективной эксплуатации подгазовых оторочек малой толщины
- Технологии заканчивания скважин
- Технологии эффективного вытеснения высоковязкой нефти (в т.ч. ФХ МУН)
- Обоснование оптимальных режимов работы скважин с учетом геомеханических эффектов

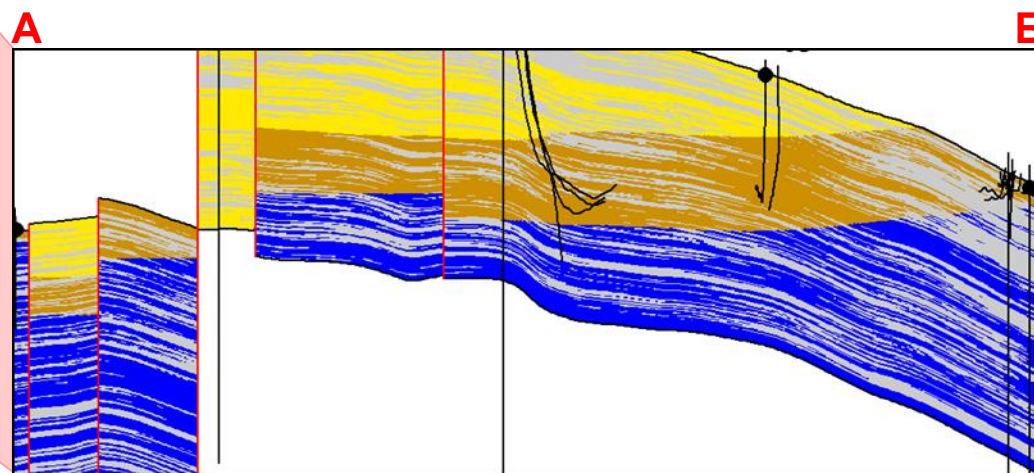
Геологическое строение



Структурная карта



Параметры	Значение
Средняя глубина залегания кровли (а.о.), м	-769
Средняя нефтенасыщенная толщина, м	26
Коэффициент нефтенасыщенности, доли ед.	0.6
Коэффициент пористости, доли ед.	0.3
Проницаемость, мД	519
Расчлененность, ед.	56
Начальная пластовая температура, °С	17-20
Начальное пластовое давление, МПа	8,3-9,4
Газовый фактор, м³/т	21
Вязкость нефти в пластовых условиях, МПа·с	220



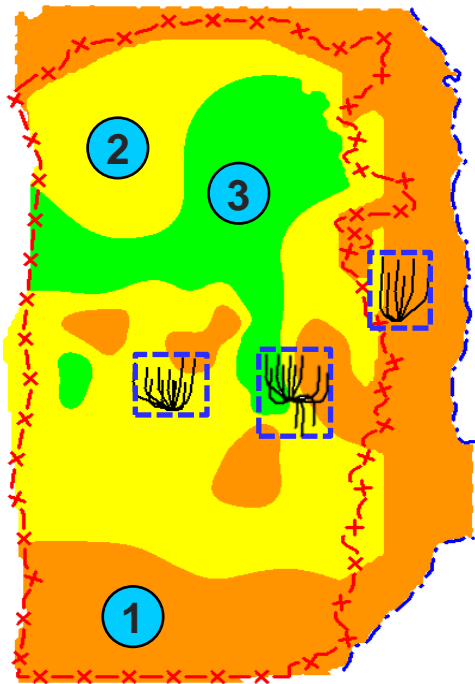


Цель реализации ГРП


Цель ГРП: разрыв глинистых перемычек и увеличение объема дренируемых запасов за счет приобщения дополнительных продуктивных пропластков

Эффекты:

- увеличение накопленной добычи нефти
- увеличение продуктивности скважин

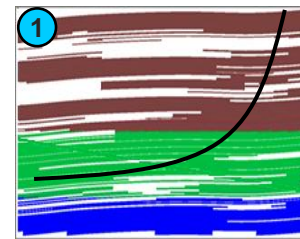


Отложения ПК1-7 по типу разреза разделяются на 3 зоны:

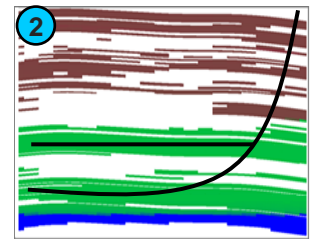
- 1 Выдержанный пласт либо малые эффективные толщины – бурение ГС
 - 2 Два выдержанных пропластка, разделенных глинистой перемычкой – бурение двухствольных скважин
 - 3 Высокорасчлененный разрез – бурение МЗС (fishbone) или ГС с МГРП
-  Моделирование дизайнов ГРП (РН-ГРИД)

Типовые разрезы и варианты заканчивания

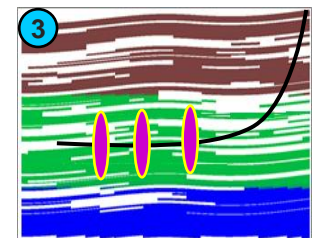
Однородный пласт



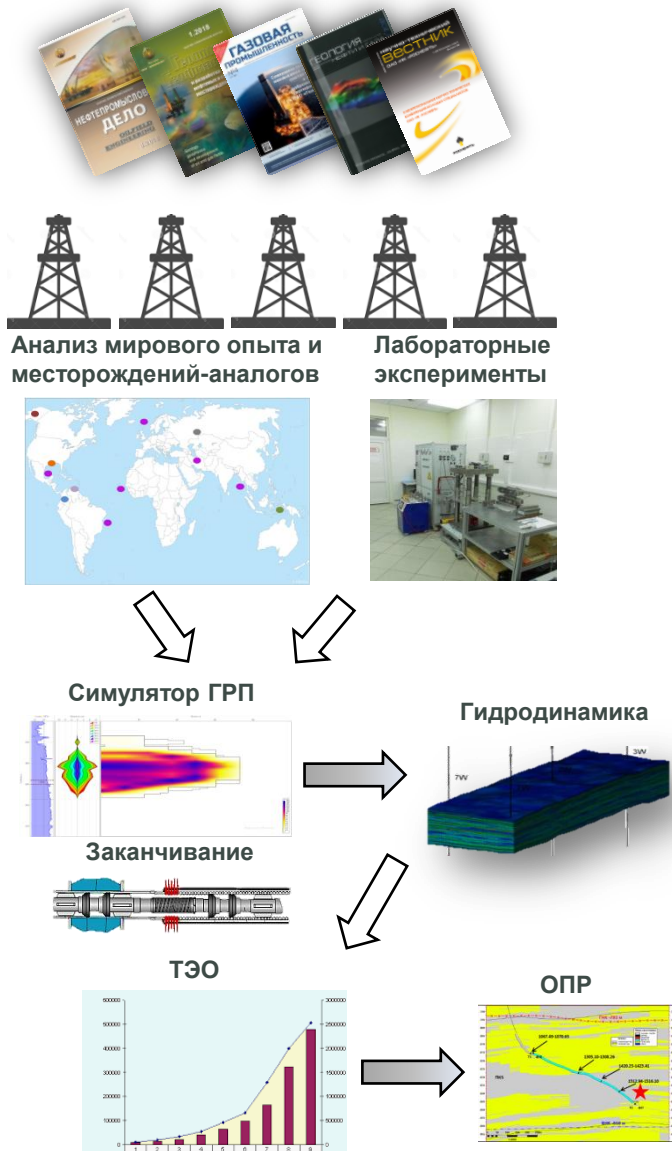
2 пропластка



Высокорасчлененный пласт



Решаемые задачи



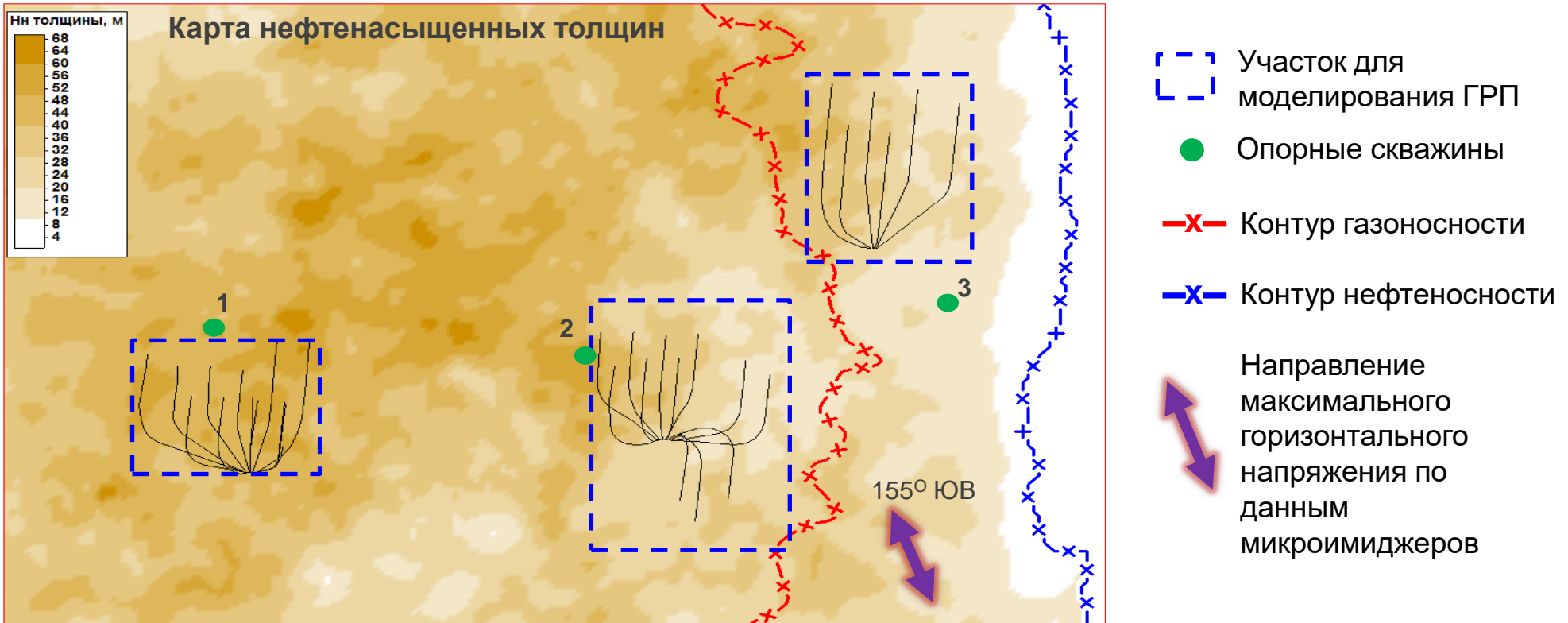
- ▶ Лабораторное тестирование проппантов и жидкостей ГРП
- ▶ Создание 1Д геомеханических моделей и моделирование дизайнов ГРП
- ▶ Выбор компоновок заканчивания скважин
- ▶ Гидродинамические расчеты на секторных моделях и технико-экономическая оценка эффективности
- ▶ Формирование программы ОПР

Параметры, влияющие на геометрию трещины



Параметр	Влияние	Источник получения
Геомеханическая модель	Геометрия трещины ГРП	Построена для опорных скважин с использованием расширенного комплекса ГИС, результаты тестирования керна
Жидкость ГРП	Проницаемость пласта и трещины ГРП	Лабораторные эксперименты на керне для оценки разбухания образцов и влияния на проницаемость пласта
Проппант	Проницаемость трещины ГРП	Лабораторные эксперименты на керне для оценки вдавливания проппанта, базовой и остаточной проводимости проппантной пачки
Скорость закачки	Геометрия трещины ГРП	Моделирование геометрии трещин ГРП, опыт выполненных ГРП на месторождениях-аналогах
Утечки жидкости ГРП		

Выбор скважин для моделирования ГРП



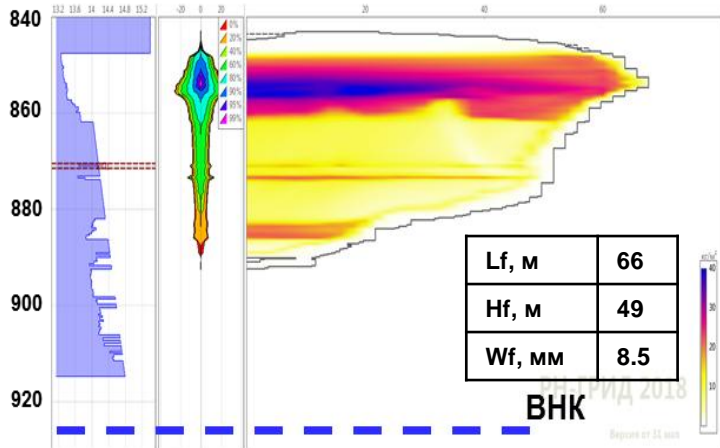
Для целей моделирования ГРП выбраны 3 участка с разными геологическими особенностями:

- Различные эффективные нефтенасыщенные толщины
- Зоны с глинистой перемычкой, разделяющей пласты с удаленным ГНК и ВНК
- Контактные запасы с водой (без глинистых перемычек) - оценка значения и динамики обводненности при прорыве под ВНК

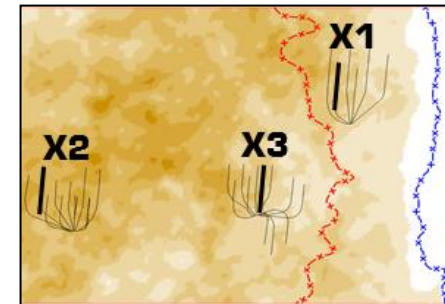
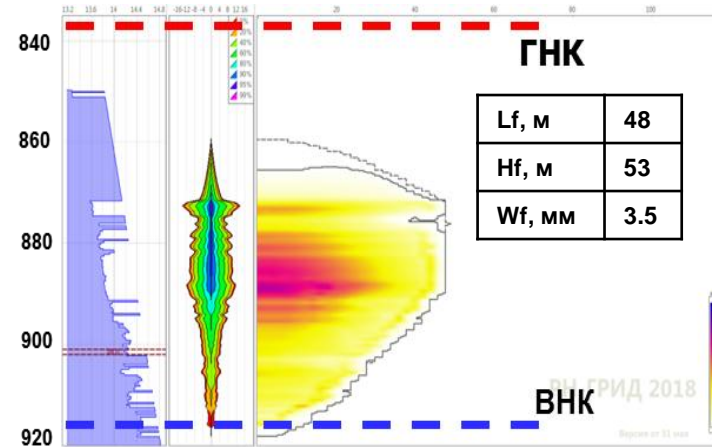
Результаты моделирования дизайнов ГРП



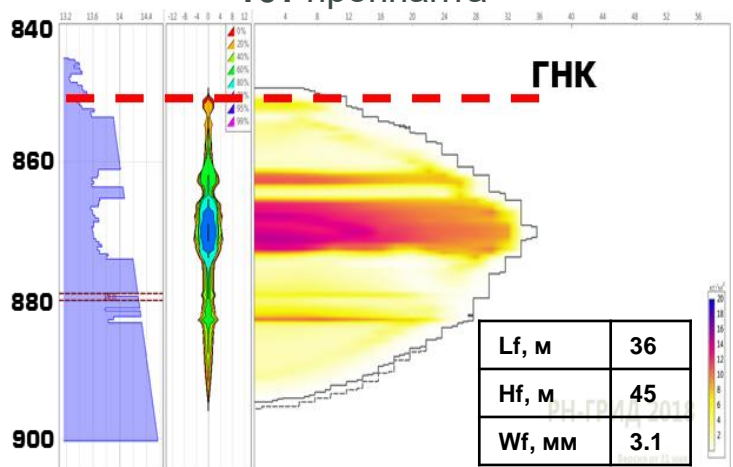
Скважин X1
60т пропанта



Скважина X2
20 т пропанта



Скважина X3
10т пропанта



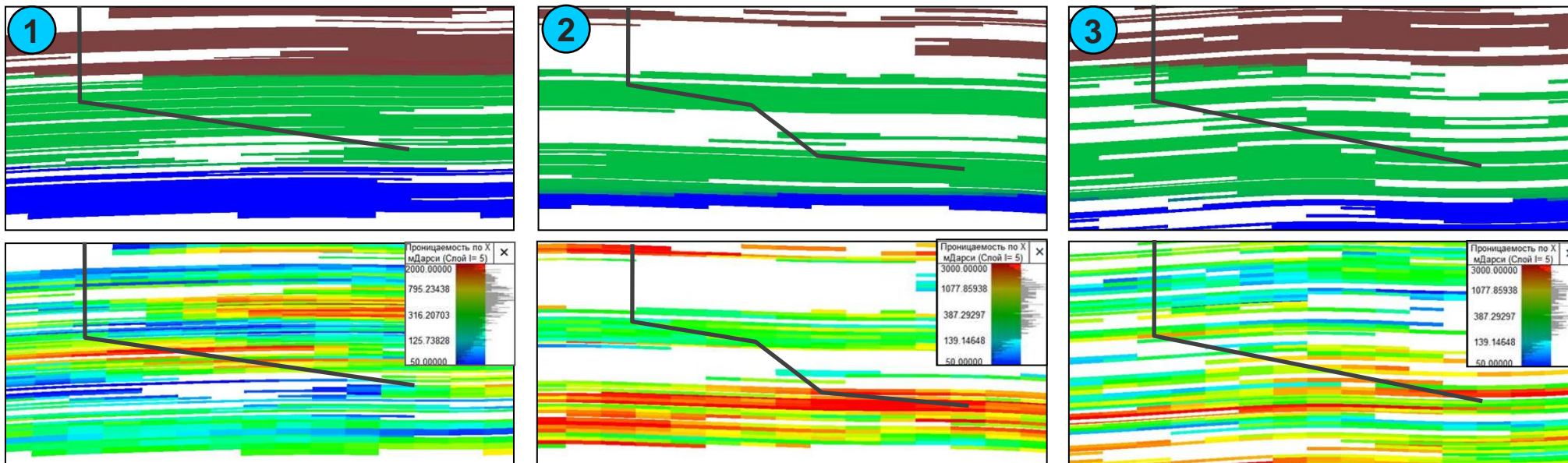
Вертикальные трещины приобцщают пропластки, разделенные глинистыми перемычками

В скважине X1 трещина не прорывается в ВНК

В скв. X2 и X3 трещины прорываются в ГНК и ВНК при небольших объемах закачки

Требуется индивидуальный подбор дизайна для каждой скважины

Секторное ГД моделирование



Расчеты на 3 секторных ГДМ, соответствующих выделенным типам разреза:

- ГС
- ГС с МГРП
- МЗС (fishbone или 2-ствольная скважина)

Моделировался 1 элемент разработки

Управление скважинами на прогноз:

Принятые на м/р Рзаб

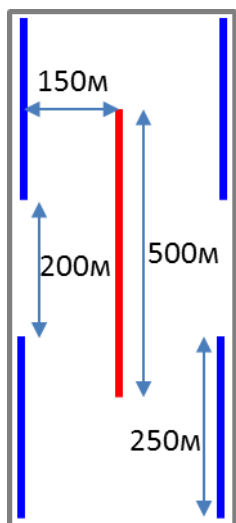
Период оценки: 50 лет

Условия остановки скважин:

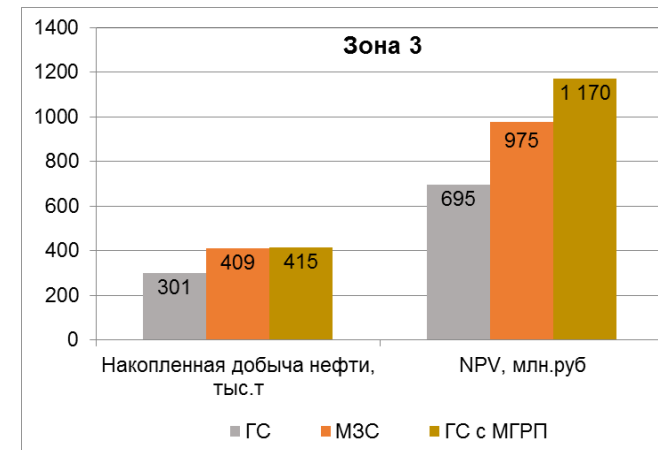
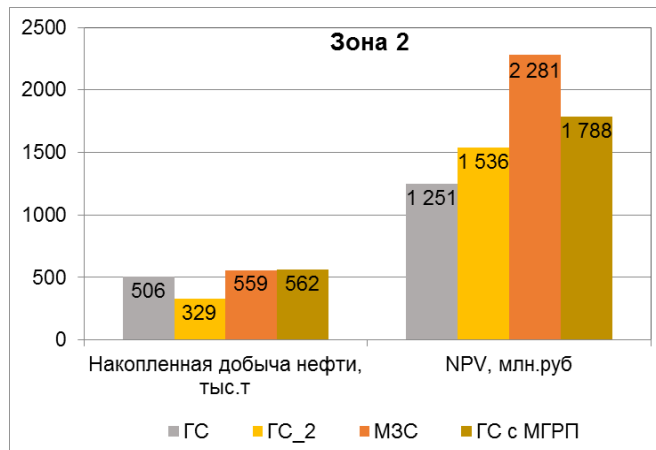
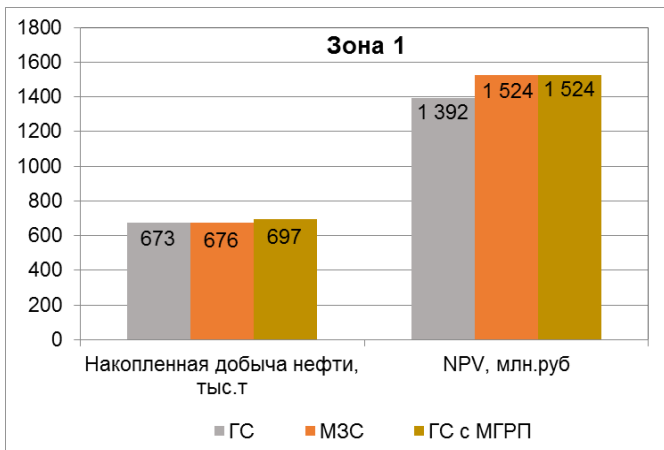
Обводненность – 98%

Q_n – 1 т/сут

ГНФ – 2000 м³/м³



Сопоставление технико-экономической эффективности и риски



Зона 1 - бурение ГС. МЗС и ГРП в однородном разрезе не обеспечивают существенного прироста накопленной добычи нефти

Зона 2 - 2-ствольные МЗС обеспечивают максимальный технико-экономический эффект

Зона 3 - МЗС и ГС с МГРП сопоставимы по накопленной добыче нефти. ГС с МГРП характеризуется большим NPV за счет высокого стартового дебита

Основные риски	
МЗС	ГС с МГРП
<ol style="list-style-type: none"> 1. Пересыпание открытых участков стволов в процессе эксплуатации 2. Выбытие скважины в случае прорыва газа и/или воды в один из боковых стволов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прорыв в газо- и/или водонасыщенные интервалы 2. Интенсивный вынос проппанта и песка в процессе эксплуатации 3. Невозможность создания трещины из-за высоких утечек 4. Образование полимерной корки на стенке трещин 5. Вдавливание проппанта в процессе эксплуатации скважины 6. Интенсивное обводнение от закачки

Реализация ГРП сопровождается большим количеством рисков в сравнении с бурением МЗС

Часть рисков может быть снижена/исключена по результатам реализации ОПР

Компоновки для заканчивания скважин



Компоновка	Положительные стороны	Отрицательные стороны	Комментарий
Заколонные пакера и сдвижные муфты с фильтрами	<ul style="list-style-type: none"> • Последующая разработка через фильтры, муфты ГРП закрываются ключом; • Контроль выноса песка 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость; • Возможно заклинивание муфты 	Отсутствует в Компании
Заколонные пакера и муфты, активируемые шарами с глухой трубой	<ul style="list-style-type: none"> • Активация шарами; • Возможность использования растворимых шаров и седел; • Низкая стоимость 	<ul style="list-style-type: none"> • Нет возможности повторного ГРП; • Последующая добыча только через фрак порт; • Нет контроля выноса песка 	• Большой опыт реализации в Компании
Заколонные пакера и сдвижные муфты с глухой трубой	<ul style="list-style-type: none"> • Обеспечение доступа к пласту с помощью муфт ГРП; • Муфты ГРП активируют с помощью специального инструмента (спускается на НКТ или ГНКТ); • Селективный ГРП 	<ul style="list-style-type: none"> • Последующая добыча только через фрак порт; • Возможно заклинивание муфты; • Нет контроля выноса песка 	
Заколонные пакера и разрывные муфты с глухой трубой+селективный пакер	<ul style="list-style-type: none"> • Чашечный пакер для ГРП спускается на НКТ и располагается напротив порта; • Разобшение интервалов ГРП осуществляется путем размещения чашечного пакера в интервале вышележащей муфты; • Селективный ГРП 	<ul style="list-style-type: none"> • Последующая добыча только через фрак порт; • Нет контроля выноса песка 	• Большой опыт реализации в Компании
Заколонные пакера и муфты, активируемые шарами (два седла) с фильтрами	<ul style="list-style-type: none"> • Последующая разработка через фильтры, муфты ГРП закрываются вторым шаром; • Контроль выноса песка 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость; • Возможно заклинивание муфты; • Отсутствие готовых компоновок 	<ul style="list-style-type: none"> • Опыт отсутствует • Компоновка находится на стадии производства (образцы отсутствуют)

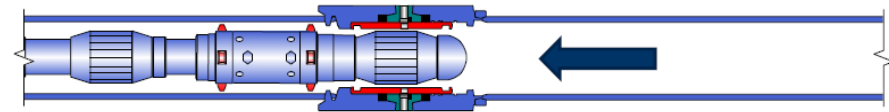
 Рекомендуемые компоновки заканчивания скважин

Схема проведения МГРП в «новых» скважинах



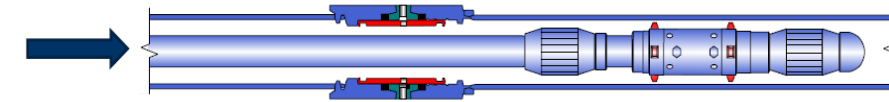
1

- Спуск и активация ключа
- Открытие порта движением ключа вверх/вниз



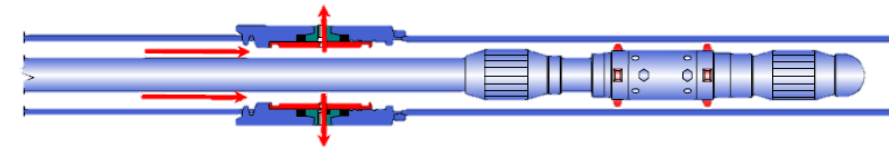
2

- Деактивация ключа и позиционирование его ниже порта или извлечения из скважины



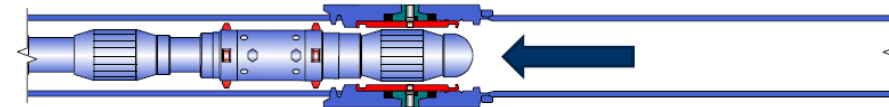
3

- Проведение ГРП по малому затрубью (ключ в скважине) или через НКТ (ключ извлечен из скважины)



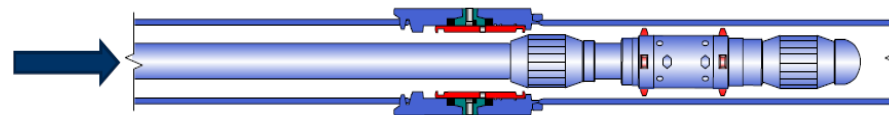
4

- Промывка
- Позиционирование ключа выше порта и активация ключа



5

- Закрытие порта движением ключа вниз
- Переход к следующему интервалу



6

- После проведения ГРП во всех интервалах извлечение ключа
- Спуск ключа (другого типа) и открытие элементов фильтра в горизонтальном участке скважины

Схема проведения ГРП на «старых» скважинах



1

- Positioning of a selective packer with GPP opposite to the columnar packers in the first interval
- Conducting perforation (perforator/hydrofracturing perforation (GPP) on a selective packer

2

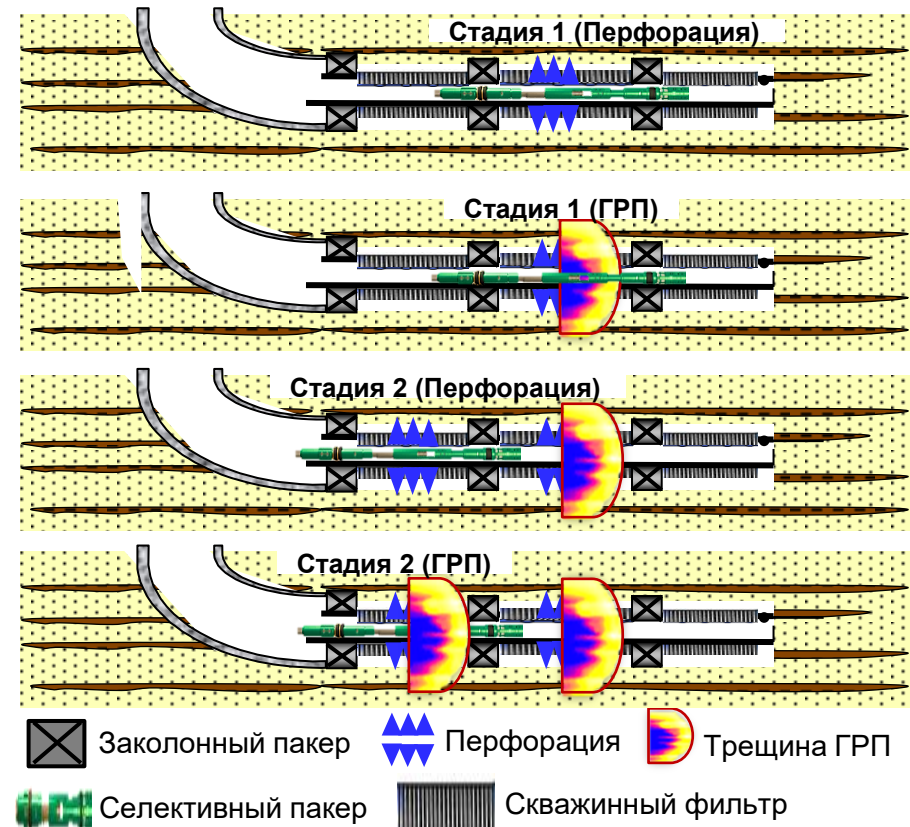
- Conducting GPP (stage 1)

3

- Positioning of a selective packer with GPP opposite to the columnar packers in another interval
- Conducting perforation (perforator/hydrofracturing perforation (GPP) on a selective packer

4

- Conducting GPP (stage 2)



Высокие риски ГРП с текущим заканчиванием:

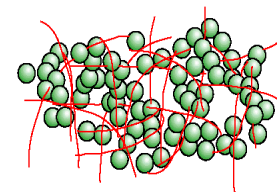
- Интенсивный вынос твердых частиц
- Возможные технические ограничения заколонных пакеров
- Высокие утечки
- Проведение слепого ГРП
- Отсутствие возможности оценки высоты трещины

Мероприятия по ограничению выноса песка



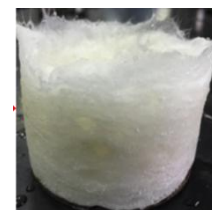
► Использование проппанта RCP с активатором спекания при низких температурах:

- Необходимы лаб. тесты на спекание при 20°C
- Тесты на стабильность жидкости ГРП при использовании активатора



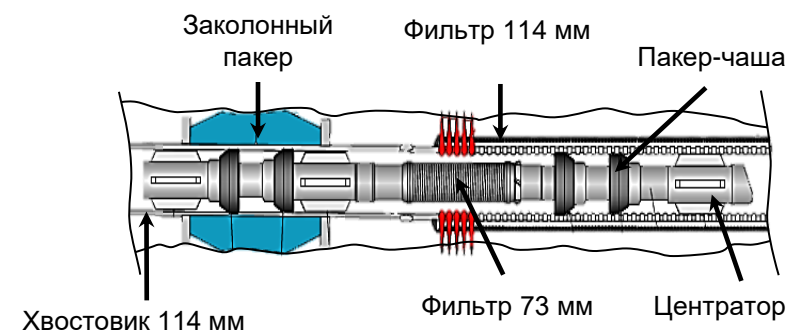
► Использование химического отклонителя для повторных ГРП путем закачки через ГНКТ/НКТ в интервал перфорации:

- Сомнения в креплении к фильтрам
- Смещение отклонителя при СПО



► Использование 2-пакерных компоновок для изоляции:

- Полное прекращение работы интервала
- Сомнения в креплении к фильтрам
- Снижение номинального диаметра



► Использование пластырей для перекрытия зон:

- Нет опыта в горизонтальных скважинах
- Сомнения в креплении к фильтрам
- Смещение пластыря при СПО

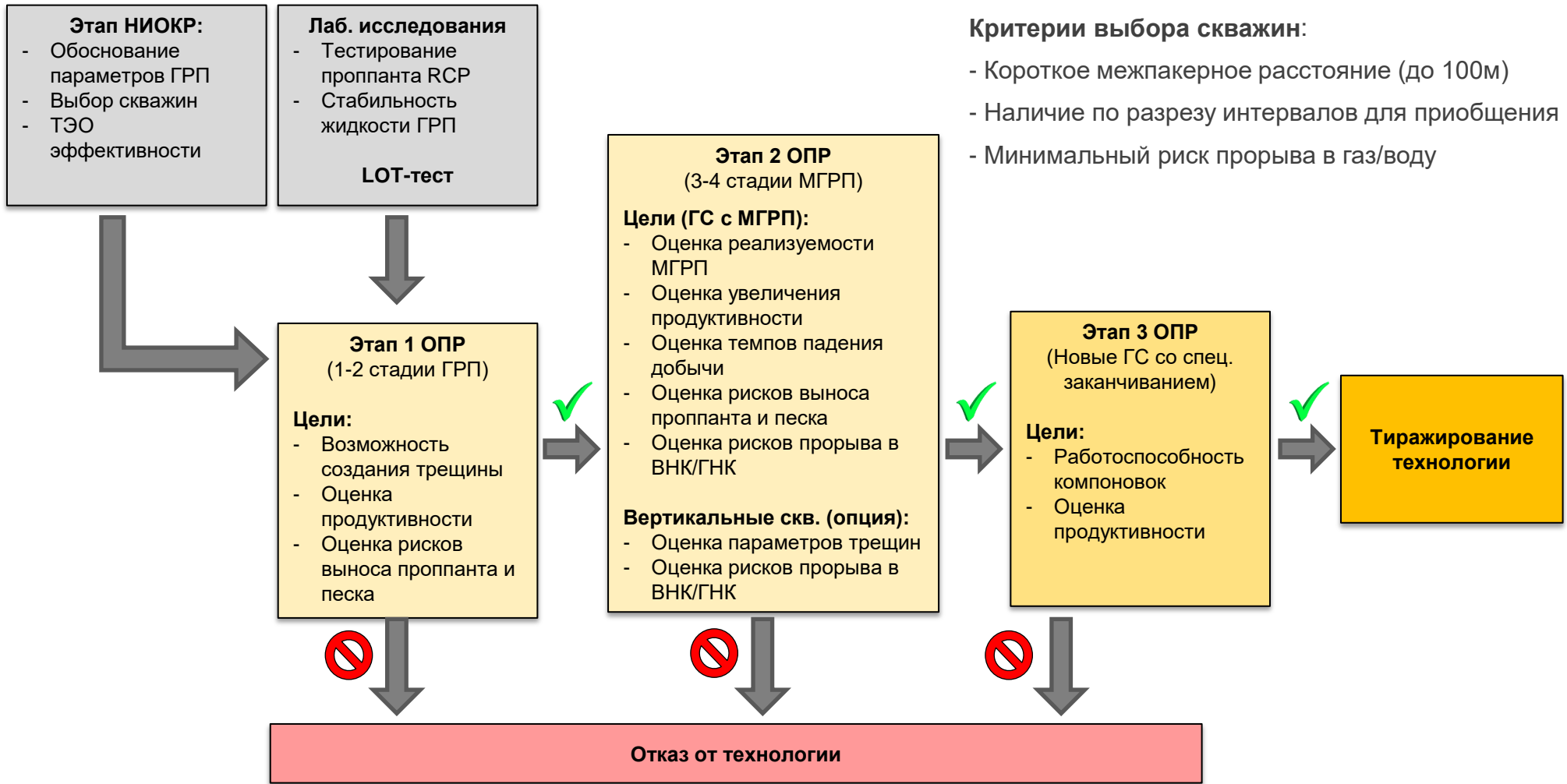


Заготовка



Формы профильных труб

Общая схема реализации ОПР



✓ - Подтверждение эффективности

⊘ - Недостижение показателей



- По результатам моделирования дизайнов ГРП показана возможность приобщения продуктивных интервалов, разделенных глинистыми перемычками. Требуется индивидуальное моделирование дизайнов ГРП для каждой скважины.
- Реализация ГРП в скважинах с высокорасчлененным разрезом обеспечивает прирост накопленной добычи нефти на 30% относительно ГС и характеризуется положительным экономическим эффектом
 - По технико-экономической эффективности ГС с МГРП в расчлененном разрезе сопоставимы с технологией fishbone
 - Требуется реализация ОПР для снятия существующих неопределенностей и выбора технологии .
- По текущей геологической модели потенциал для реализации МГРП ~ 80 проектных скважин. Также ГРП эффективен в фактических низкопродуктивных скважинах с высокой долей неколлектора по стволу.
- Для реализации ГРП в пластах ПК рекомендуется компоновка заканчивания, совмещающая муфты ГРП и фильтровые элементы для предотвращения выноса песка. При проведении ГРП в скважинах с текущим заканчиванием рекомендуется применение сдвоенного селективного пакера.
- Разработана схема проведения ОПР по испытанию технологии, ведутся подготовительные работы.



Контактная информация

ООО «ТННЦ»
(Корпоративный научно-проектный комплекс
ПАО «НК «Роснефть»)
г. Тюмень, ул. Осипенко, д. 79/1
тел. (3452) 55-00-55
e-mail: tnc@rosneft.ru

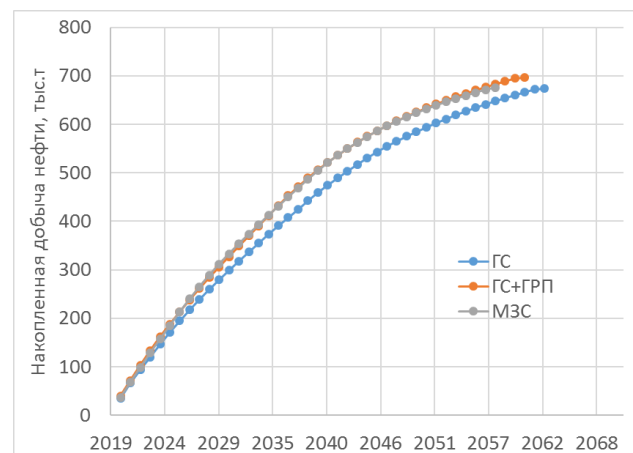
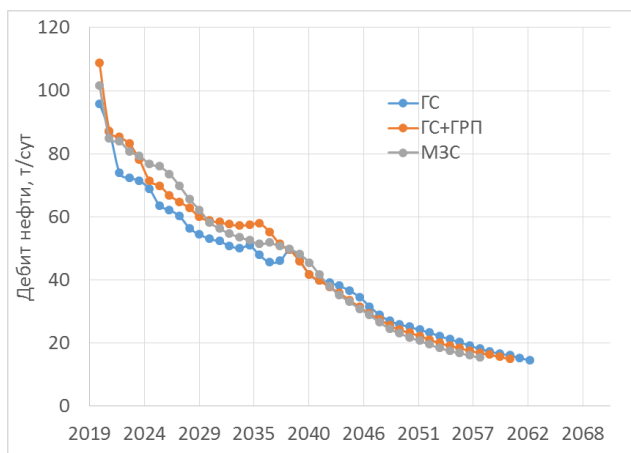
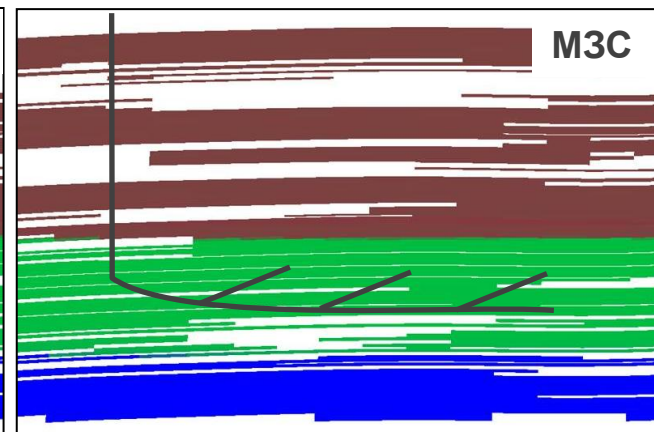
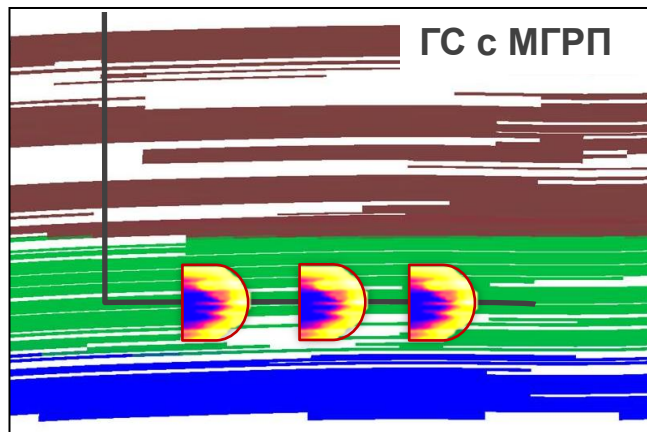
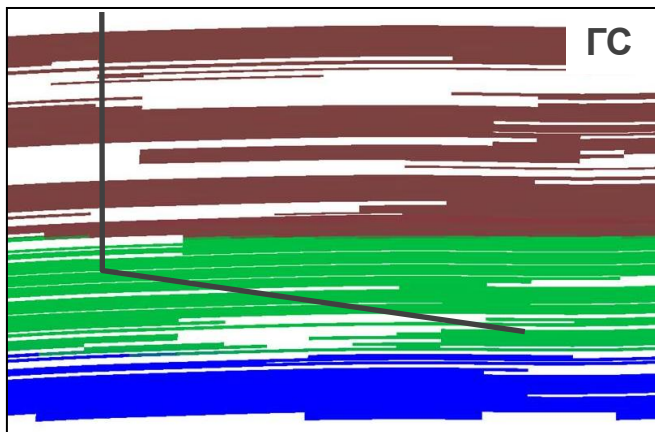
Спасибо за внимание!





Дополнительные слайды

Сопоставление технологических показателей (зона 1)

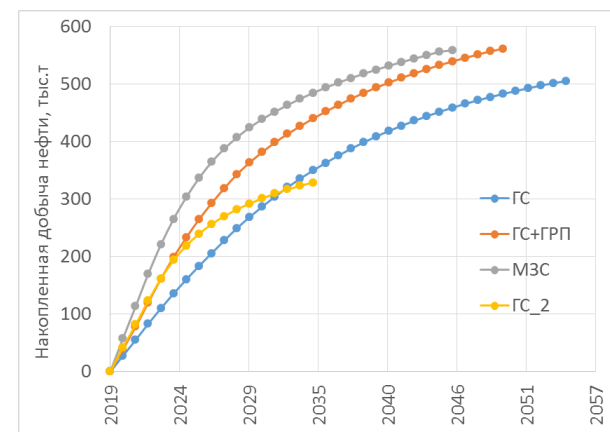
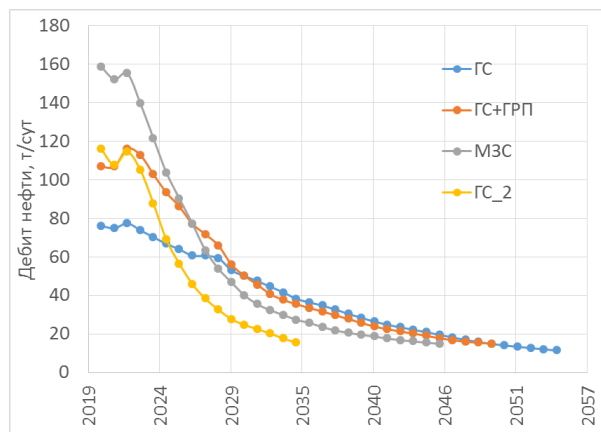
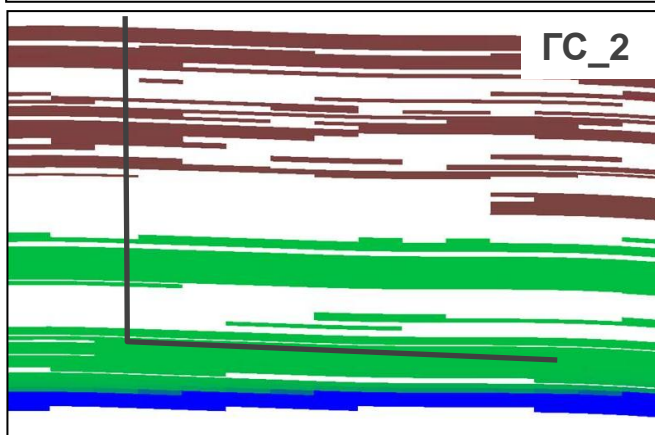
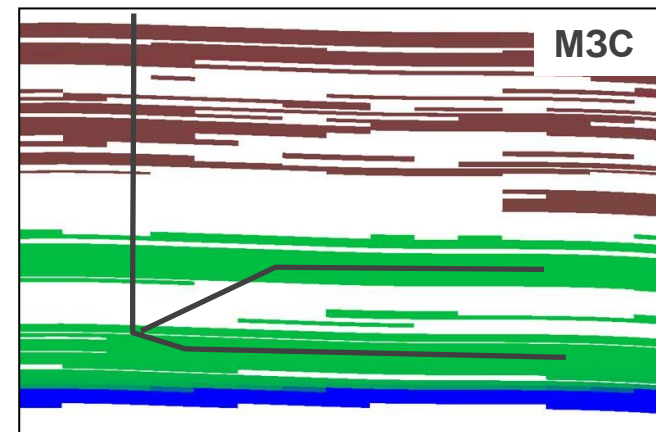
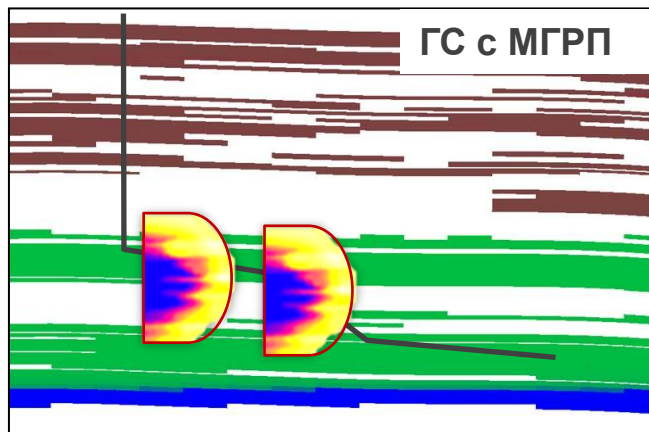
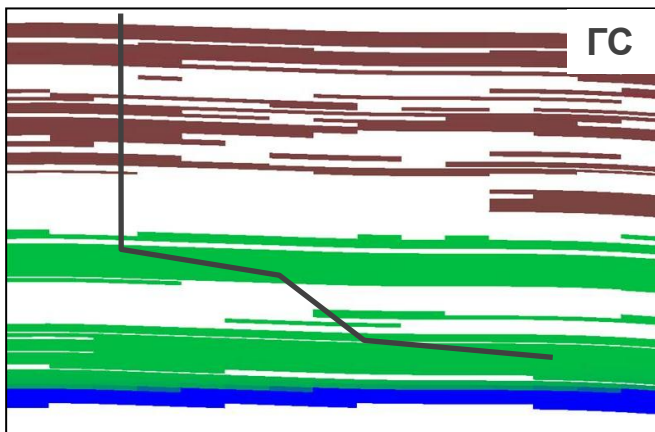


Показатели	ГС	МЗС	ГС с МГРП
Накопленная добыча нефти, тыс.т	673	676	697
Накопленная добыча жидкости, тыс.т	6 021	5452	5 991
NPV, млн.руб	1 392	1 524	1 524

Реализация МГРП нецелесообразна (отсутствие прироста КИН, высокие риски)

Оптимальный вариант: ГС

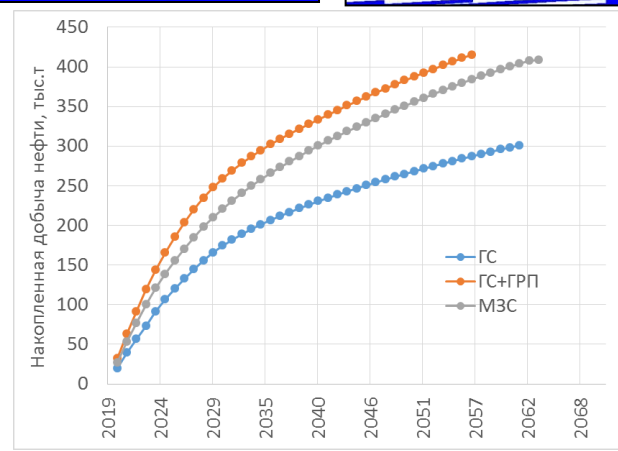
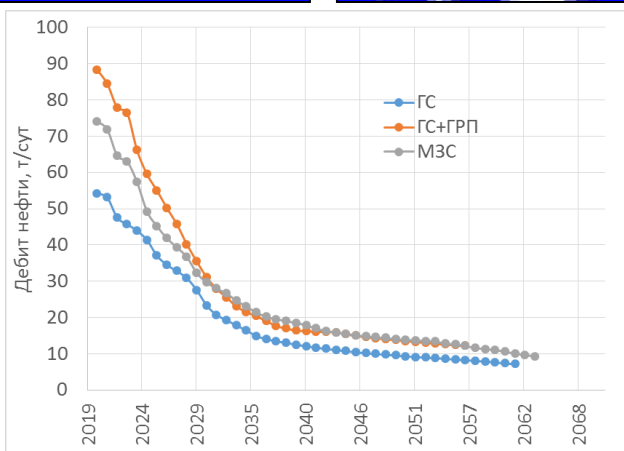
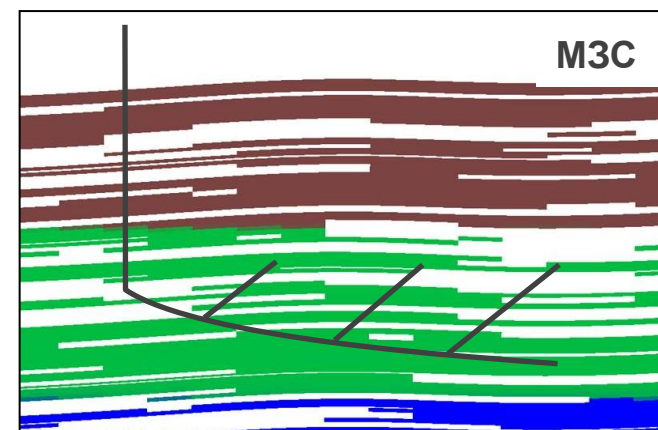
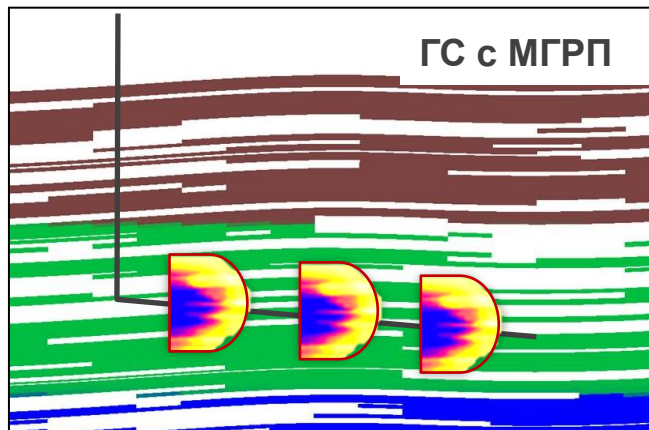
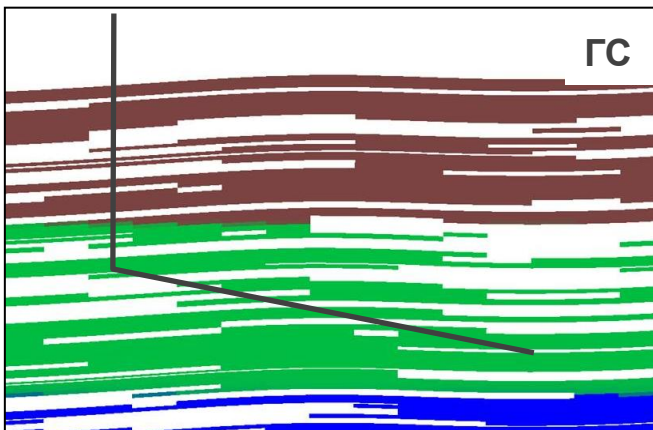
Сопоставление технологических показателей (зона 2)



Показатели	ГС	ГС_2	МЗС	ГС с МГРП
Накопленная добыча нефти, тыс.т	506	329	559	562
Накопленная добыча жидкости, тыс.т	4 613	3 046	6 672	6 216
NPV, млн.руб	1 251	1 536	2 281	1 788

Реализация МГРП нецелесообразна
Оптимальный вариант: 2-ствольные МЗС

Сопоставление технологических показателей (зона 3)



Показатели	ГС	МЗС	ГС с МГРП
Накопленная добыча нефти, тыс.т	301	409	415
Накопленная добыча жидкости, тыс.т	4 005	5 835	6 592
NPV, млн.руб	695	975	1 170

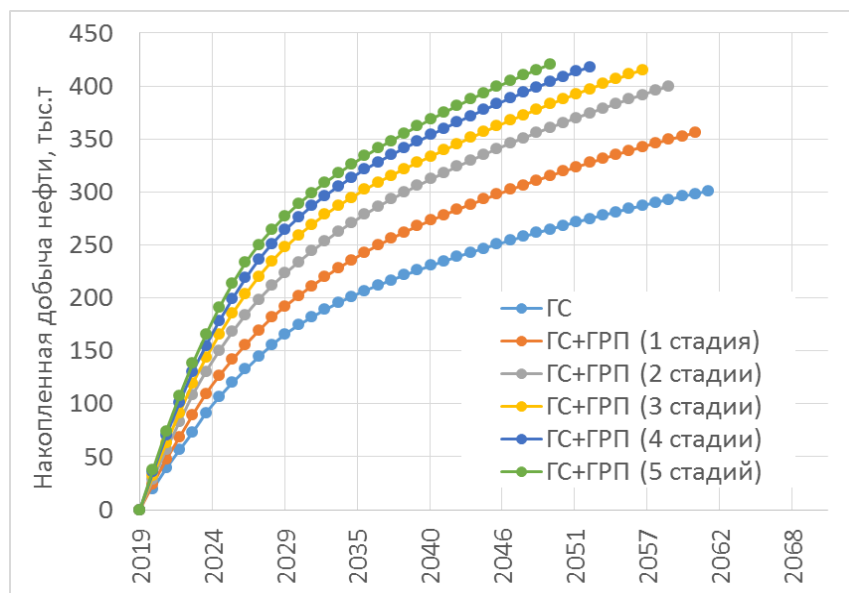
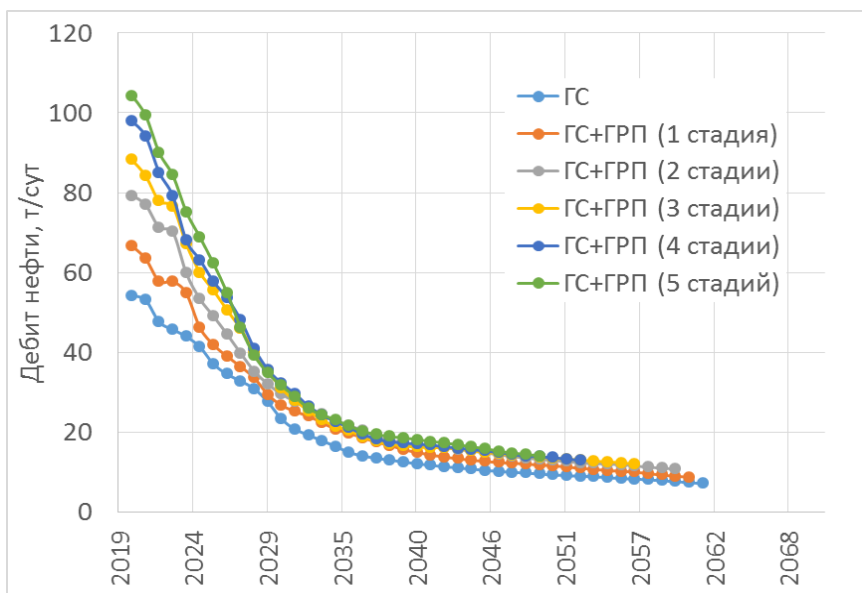
ГС с МГРП и МЗС fishbone сопоставимы по величине накопленной добычи нефти

ГС с МГРП характеризуется более высоким NPV за счет стартового дебита

ГС менее эффективны



Динамика технологических показателей для разного числа стадий МГРП



Показатели	ГС	1 стадия	2 стадии	3 стадии	4 стадии	5 стадий
Накопленная добыча нефти, тыс.т	301	356	403	415	418	421
Накопленная добыча жидкости, тыс.т	4 005	5 009	6 329	6 592	6 492	6 225
КИН, д.ед	0,126	0,149	0,167	0,173	0,175	0,176
NPV, млн.руб	695	861	1 048	1 170	1 272	1 351

С позиции технико-экономической эффективности рекомендуется реализация не менее 3 стадий МГРП

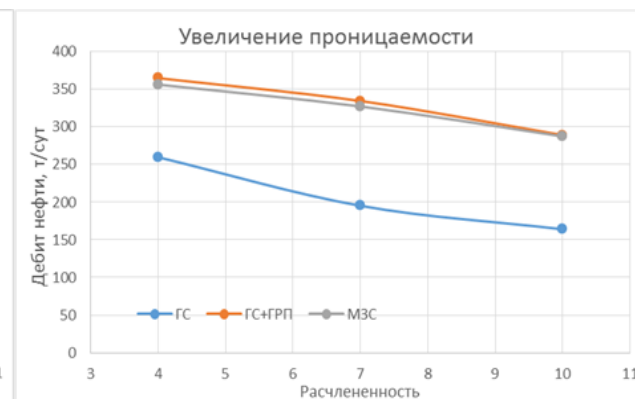
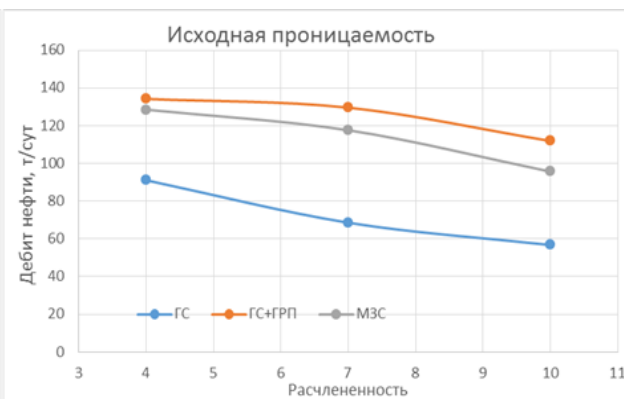
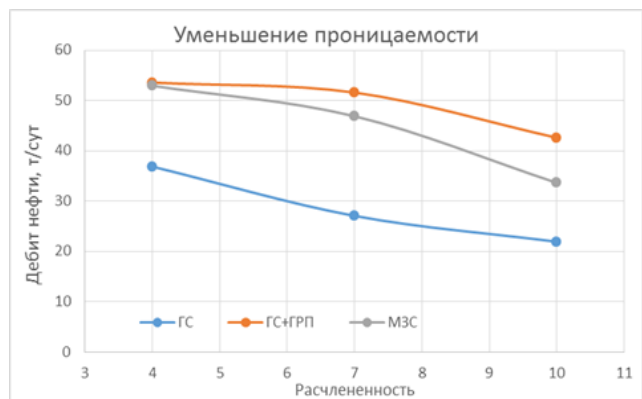
Расчлененность и проницаемость



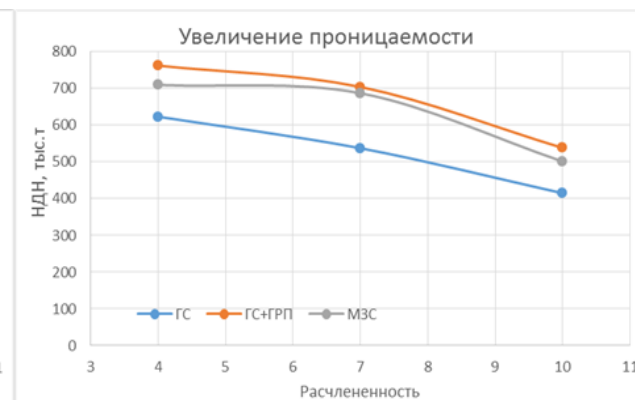
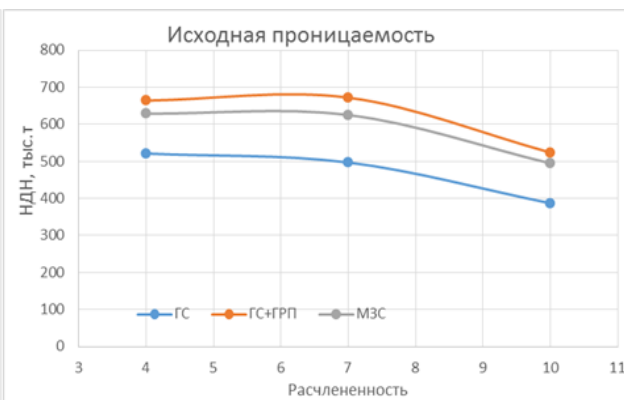
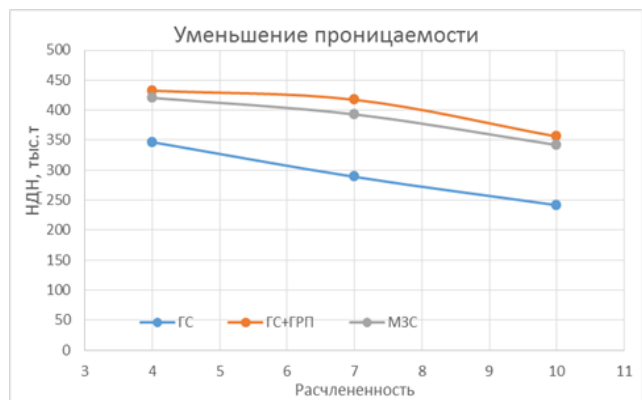
Расчлененность: от 4 до 10

Проницаемость: изменение в 3 раза в большую и меньшую сторону

Средний дебит
нефти в 1-й год



Накопленная
добыча нефти

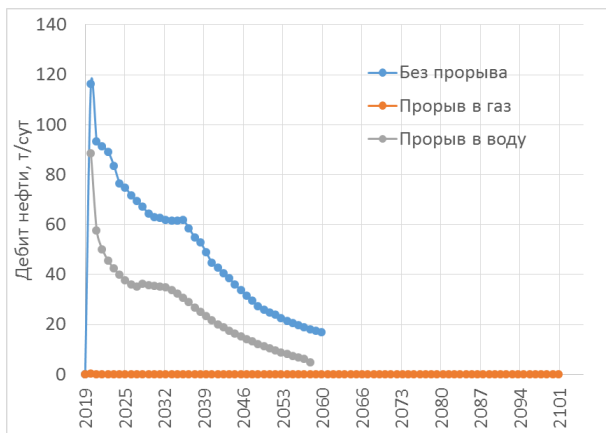


- При варьировании расчлененности и проницаемости технологии МЗС и ГС с МГРП остаются сопоставимы
- ГС во всех вариантах проигрывает по дебиту и накопленной добыче нефти
- Преимущество ГС с МГРП над МЗС отмечается при увеличении расчлененности и снижении проницаемости

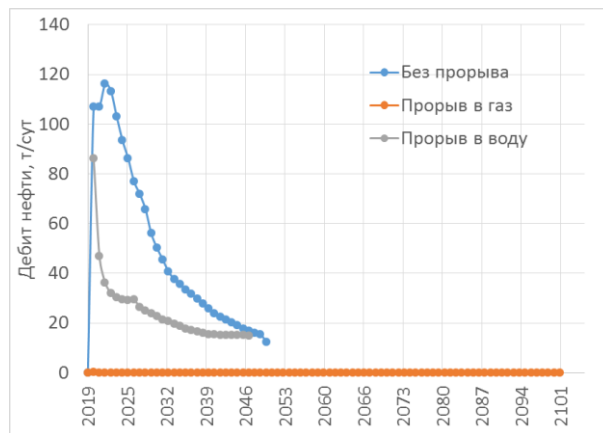
Прорыв трещин ГРП в ГНК/ВНК



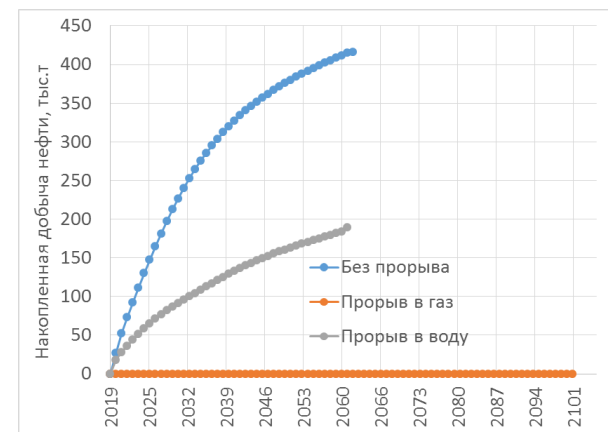
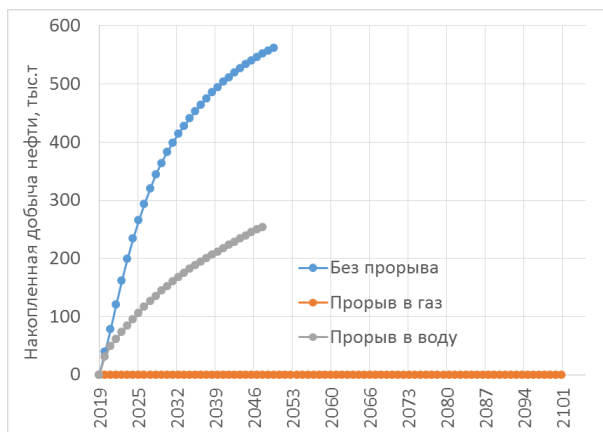
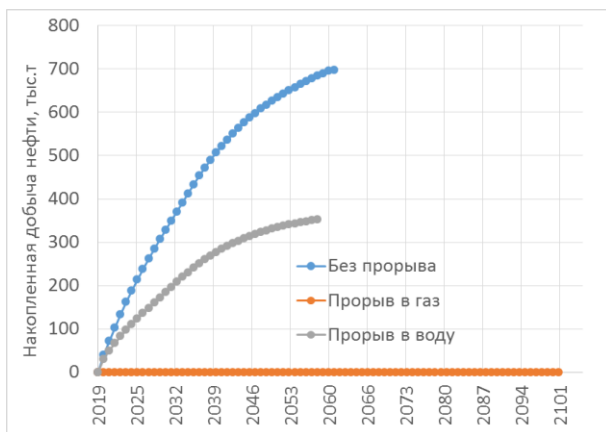
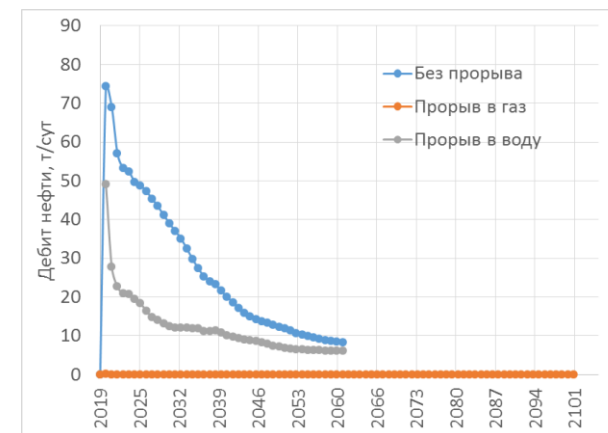
Зона 1



Зона 2



Зона 3



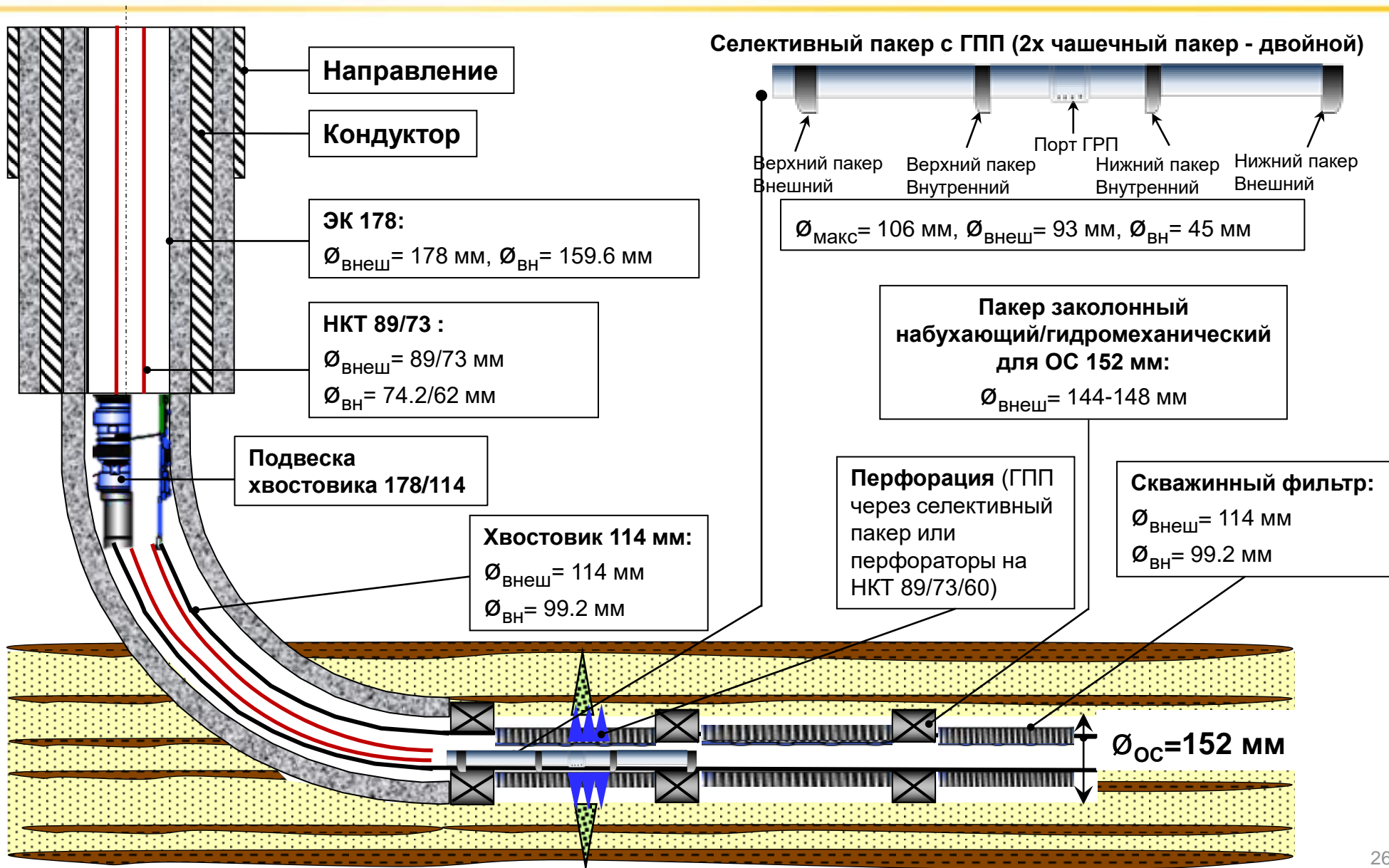
При прорыве трещины в ГНК скважина сразу останавливается из-за превышения допустимого ГФ
Прорыв в ВНК менее критичен, отмечается снижение накопленной добычи нефти примерно в 2 раза

Риски и неопределенности при реализации ГРП

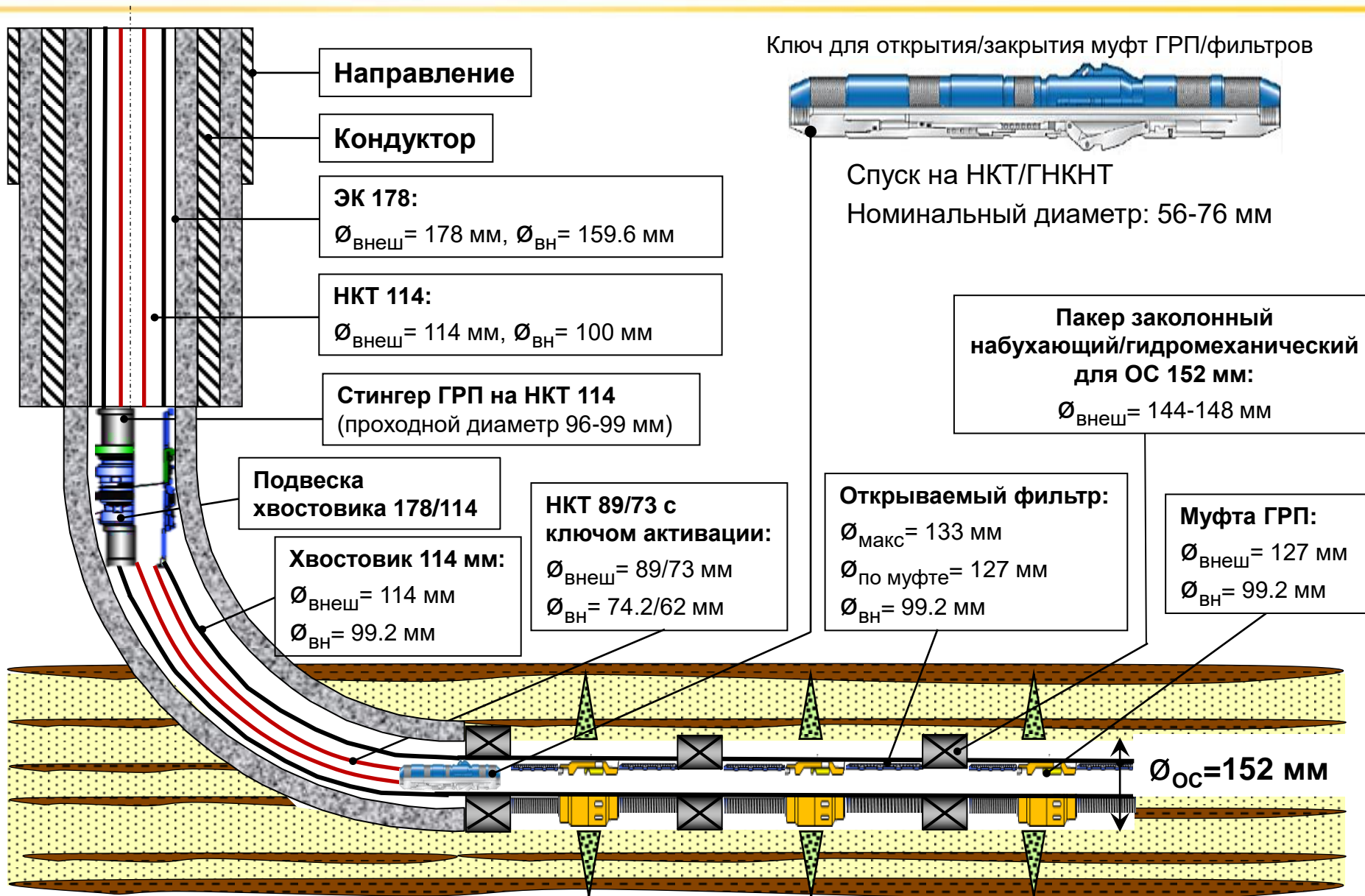


Неопределенности и риски	Мероприятия для снижения/снятия неопределенности	Уровень неопределенности	Ранг критичности для проведения ГРП
Калибровочные данные для профиля напряжений (давление закрытия, эффективное давление)	Проведение LOT теста, мини-ГРП	Высокий	Высокий
Высокая проницаемость (оценка эффективности жидкости)	Проведение LOT теста, мини-ГРП	Высокий	Высокий
Слабая консолидация (вынос твердых частиц)	Использование проппанта со смоляным покрытием, использование компоновок заканчивания с фильтром	Высокий	Высокий
Разбухание и влияние на проницаемость коллектора при воздействии жидкостей ГРП	Использование стабилизатора глин и жидкости ГРП с более низкой загрузкой полимера (выполнены лабораторные эксперименты в рамках этапа 5)	Низкий	Низкий
Низкая пластовая температура (деструкция жидкости ГРП)	Выполнение тестов при подготовке к ГРП для подбора эффективного типа брейкера (при ГРП на Восточно-Мессояхском месторождении использовался энзимный брейкер с концентрацией до 3 л/м3)	Низкий	Низкий
Приобщение водо- и газонасыщенных участков пласта при отсутствии барьеров	Проведение ОПР на вертикальных или наклонно-направленных скважинах с возможностью оценки высоты трещины. Малообъемные ГРП	Высокий	Высокий

Компоновка заканчивания для ГРП на старых скважинах



Компоновка заканчивания для МГРП на новых скважинах



Результаты лабораторных экспериментов

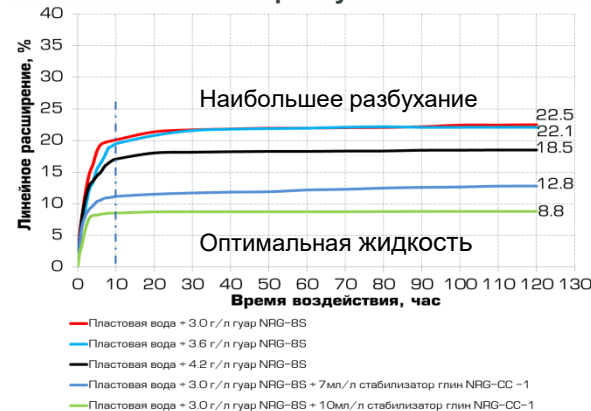


№	Типы тестов
1	Выбор жидкости. Тест на разбухание пород*
2	Выбор жидкости. Влияние жидкостей ГРП на проницаемость пласта*
3	Выбор проппанта. Оценка вдавливания**
4	Определение базовой и остаточной проводимости проппантной пачки**

* - влияние на породу

** - влияние на проппантную упаковку

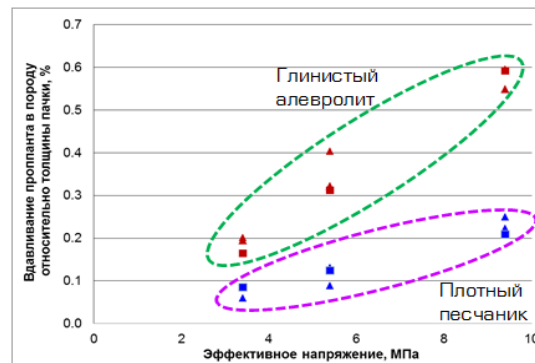
Тест на разбухание



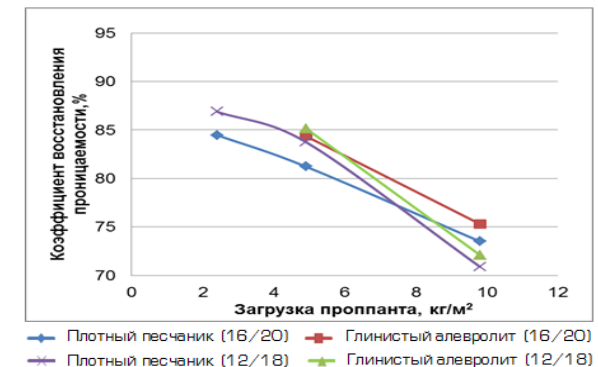
Влияние жидкостей ГРП на проницаемость

№ опыта	Жидкость воздействия	Исходная проницаемость по нефти (К _{пр} , мД)	Проницаемость по нефти после воздействия жидкостью ГРП, мД	Коэффициент восстановления, %
1	25 гель (пластовая вода + 3.0 г/л гуар + 10 мл/л стабилизатор глин)	183.6	111.8	60.9
2	30 гель (пластовая вода + 4.2 г/л гуар + 10 мл/л стабилизатор глин)	210.3	94.2	44.8
3	35 гель (пластовая вода + 4.2 г/л гуар + 10 мл/л стабилизатор глин)	256.9	69.1	26.9
4	25 гель (пластовая вода + 3.0 г/л гуар + 10 мл/л стабилизатор глин)	75.4	40.3	53.4
5	30 гель (пластовая вода + 3.6 г/л гуар + 10 мл/л стабилизатор глин)	30.7	12.5	40.7
6	35 гель (пластовая вода + 4.2 г/л гуар + 10 мл/л стабилизатор глин)	50.8	15.6	30.7

Вдавливание проппанта в породу

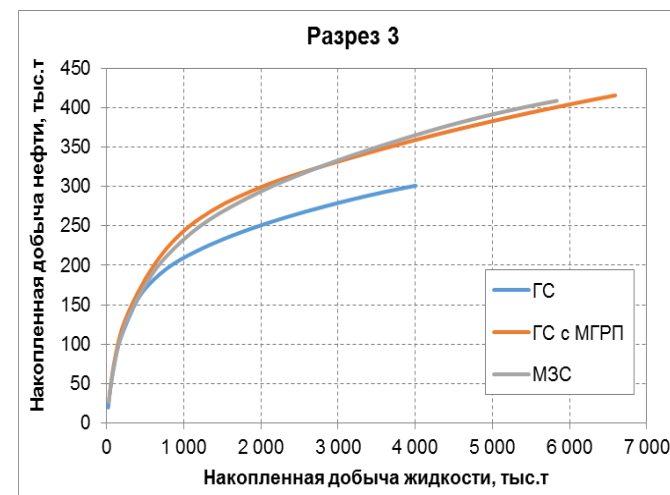
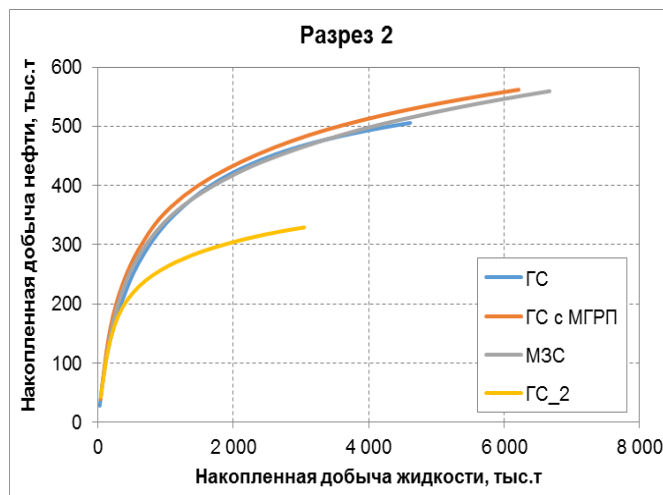
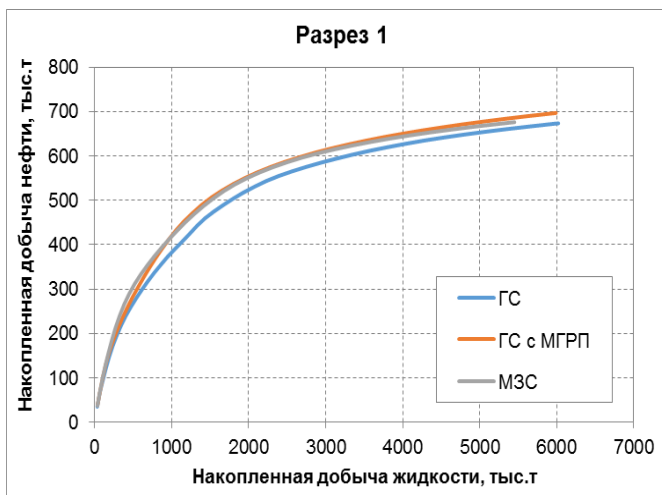
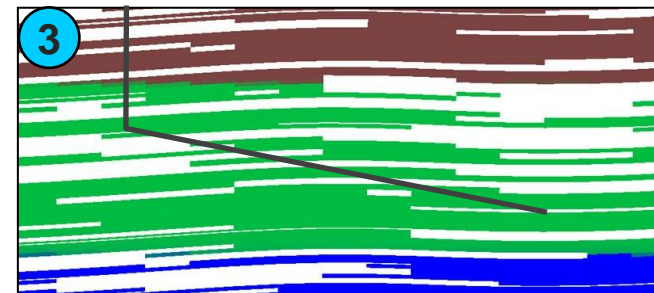
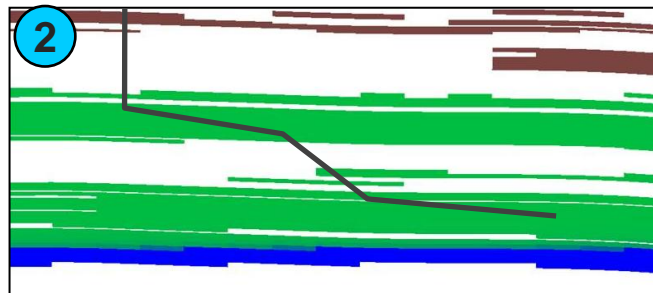
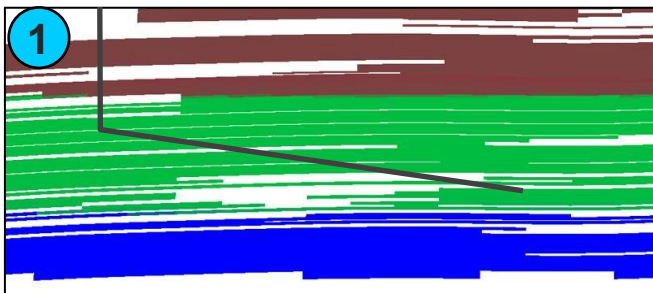


Изменение проницаемости проппантной пачки



- Для минимизации разбухания глин необходимо использовать добавки в виде стабилизатора глин с концентрацией не менее 10 л/м³
- Оптимальной жидкостью ГРП является 25й гель с загрузкой полимера 3 кг/м³
- Вдавливание проппанта в породу составляет менее 1%
- Коэффициент восстановления проницаемости проппантной пачки – 70-85%

Выработка запасов



Для всех разрезов ГС с МГРП и МЗС характеризуются сопоставимой эффективностью выработки запасов

ГС с МГРП и МЗС эффективнее, чем ГС в высокорасчлененном и «двухслойном» пласте