

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМ.И.М.
ГУБКИНА
КАФЕДРА РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Повышение эффективности разработки
пластов с суперколлекторами при
циклическом заводнении**

Москва, 2014 г

Актуальность исследования.

Объект исследования

Объектом исследований является низкопроницаемый пласт с **суперколлектором** в продуктивном разрезе.

Суперколлектор – тонкий прослой в слоисто неоднородном по коллекторским свойствам пласте с высокой степенью отличия латеральной проницаемости от проницаемости выше и ниже залегающих прослоев. Степень отличия составляет 10^2 и более раз.

- Оренбургское НГКМ
- Талинская площадь Красноленинского месторождения - пласты ЮК₁₀₋₁₁
- Ванкорское месторождение - пласты Нх₃₋₄
- Конитлорское месторождение - пласт БС₁₀
- Усть-Тегусское месторождение - пласты Ю₃₋₅



Актуальность тематики диссертационной работы. Сущность технологии циклического заводнения

Циклическое заводнение пласта основано на последовательности периодов повышения и снижения пластового давления вследствие циклического изменения приемистости нагнетательных скважин и/или дебита добывающих скважин.

Эффект от циклического заводнения выражается в увеличении накопленной добычи нефти (коэффициент извлечения нефти) при снижении добычи воды (водонефтяной фактор). Основное влияние на повышение нефтеизвлечения оказывает интенсификация перетоков между низко- и высокопроницаемыми зонами пласта.

Несмотря на существенное количество работ, остаются малоизученными некоторые аспекты механизма нефтеизвлечения – роль сжимаемости (деформационных процессов), гравитации, капиллярных сил, гидродинамических градиентов при различных геолого-промысловых условиях.

Актуальность тематики диссертационной работы. Обобщение результатов исследований

Огромный вклад в изучение циклического заводнения внесен М.Л. Сургучевым, А.А. Боксерманом, Р.Х. Муслимовым, А.И. Губановым, А.А. Кочешковым, В.Г. Оганджянцем, А.Т. Горбуновым, С.А. Ждановым, О. Э. Цынковой, В.Е. Гавурой, И.Н. Шарбатовой, Д.Ю. Кряневым и многими другими.

- **Обобщение промыслового опыта (методика ВНИИНефть).**
- **Теоретические исследования - проведены на двухслойных моделях с заданием функции обмена, которая явно не зависит от совокупности природных факторов (обоснование продолжительности периодов проводится при различной годовой закачке в вариантах, что некорректно).**
- **Экспериментальные исследования на насыпных моделях.**

Актуальность тематики диссертационной работы. Обобщение результатов исследований

Во «ВНИИнефть» были разработана методика критериального выбора пригодности тех или иных объектов разработки для дальнейшего осуществления на них технологии нестационарного заводнения, основанная на анализе характеристик вытеснения.

Критерии выбора:

- Песчанистость.
- Расчлененность.
- Зональная и послойная неоднородности.
- Степени выработки запасов.

Перечисленные геологические характеристики присущи всем объектам разработки, являются общепринятыми и содержатся в отчетных либо проектных документах на разработку любого месторождения.

Актуальность тематики диссертационной работы.

Обобщение результатов исследований

1. Методика не учитывает совокупности природных и технологических факторов, влияющих на механизмы нефтеизвлечения, а также не позволяет оценить роль механизмов в нефтеизвлечении.

2. Методика непригодна для карбонатных коллекторов со сложной структурой пустотностей (поры, трещины, невозможно учесть характер смачиваемости матрицы, проявление деформационных процессов) и пластов с суперколлекторами. При разработке методики не учтены особенности разработки пластов с суперколлекторов.



Цель диссертационной работы

Целью исследований является изучение комплексного влияния механизмов нефтеизвлечения из пластов с суперколлекторами на эффективность разработки для обоснования технологических решений при заводнении.

Основные задачи исследования

- 1. Обобщение результатов теоретических, экспериментальных и промысловых исследований механизмов нефтеизвлечения при заводнении неоднородных коллекторов.**
- 2. Разработка методики планирования, проведения и анализа результатов численных исследований механизмов нефтеизвлечения при стационарном и циклическом заводнении.**
- 3. Получение качественных и количественных закономерностей влияния природных и технологических параметров на нефтеизвлечение из пластов с суперколлекторами при стационарном заводнении.**
- 4. Обоснование режимов работы добывающих и нагнетательных скважин при циклическом заводнении пластов с суперколлекторами для различных геолого-промысловых условий.**
- 5. Апробация результатов исследования для условий реального резко неоднородного пласта одного из месторождений Западной Сибири.**

В методике обоснованы следующие позиции:

- размерность гидродинамической сетки;
- максимальный расчетный шаг по времени;
- необходимость учета влияния деформационных процессов;
- необходимость проведение расчетов при соблюдении условий, позволяющих выполнять сравнение вариантов разработки (постоянство дебитов жидкости, обеспечение среднегодовой компенсации отборов закачкой, поддержание среднегодового пластового давления на уровне начального, а также обоснование расчетного периода).

Совокупность исследуемых факторов

Природные параметры:

- капиллярные силы;
- положение суперколлектора в продуктивном разрезе;
- проницаемость и толщина суперколлектора;
- проницаемость и толщина основного пласта;
- сжимаемость системы.

Технологические параметры:

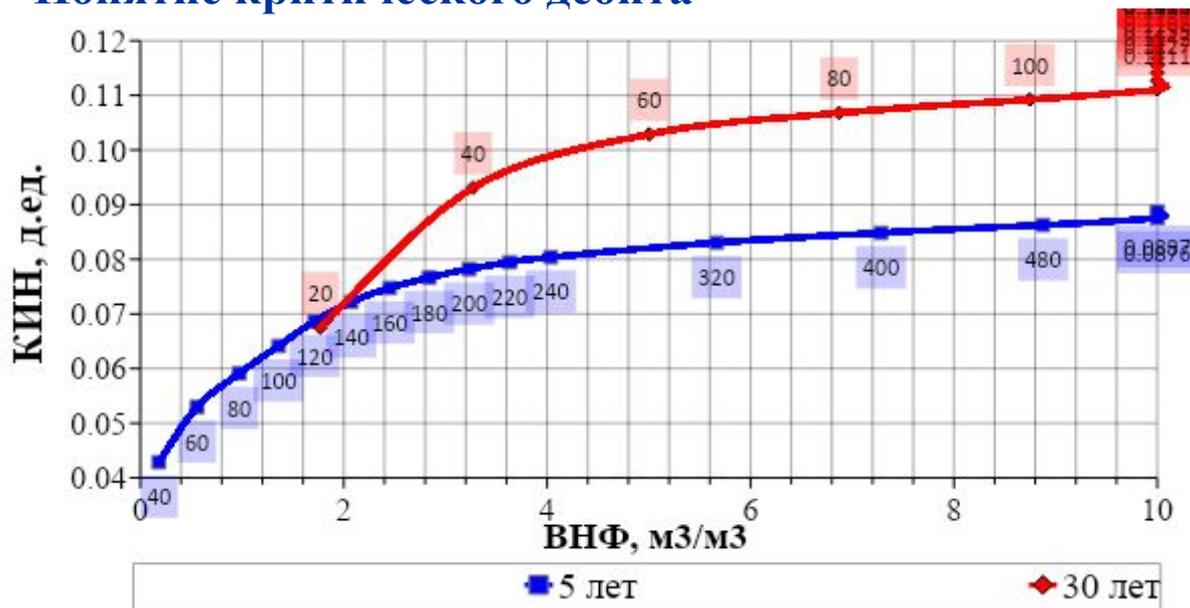
- темпы разработки (различные отборы жидкости);
- плотность сетки скважин;
- продолжительности периодов падения и повышения пластового давления;
- периодическая работа добывающих скважин;
- момент начала циклического заводнения.



Закономерности влияния совокупности факторов на механизмы нефтеизвлечения при стационарном заводнении (1)

Исследование влияния капиллярной пропитки на нефтеизвлечение.

Понятие критического дебита



Рациональный дебит - тот дебит, который позволяет обеспечить максимальное внедрение воды в основной пласт за счет капиллярной пропитки. Соответствует изменению характера зависимости КИН от ВНФ - через 5 лет порядка 180 м³/сут, через 30 лет - снижение до ~ 40-60 м³/сут.

Рис. Зависимости КИН от ВНФ при различных дебитах скважины

Вывод. При стационарном заводнении с компенсацией отборов закачкой гидрофильных пластов с высокой проницаемостью суперколлектора при его расположении в подошве эксплуатация скважин с обоснованным рациональным отбором (при критическом дебите) позволяет обеспечить минимальные объемы попутно добываемой воды, что позволяет повысить энергоэффективность традиционного заводнения.

Закономерности влияние совокупности факторов на механизмы нефтеизвлечения при стационарном заводнении (2)

Оценка влияния характера смачивания основного пласта.

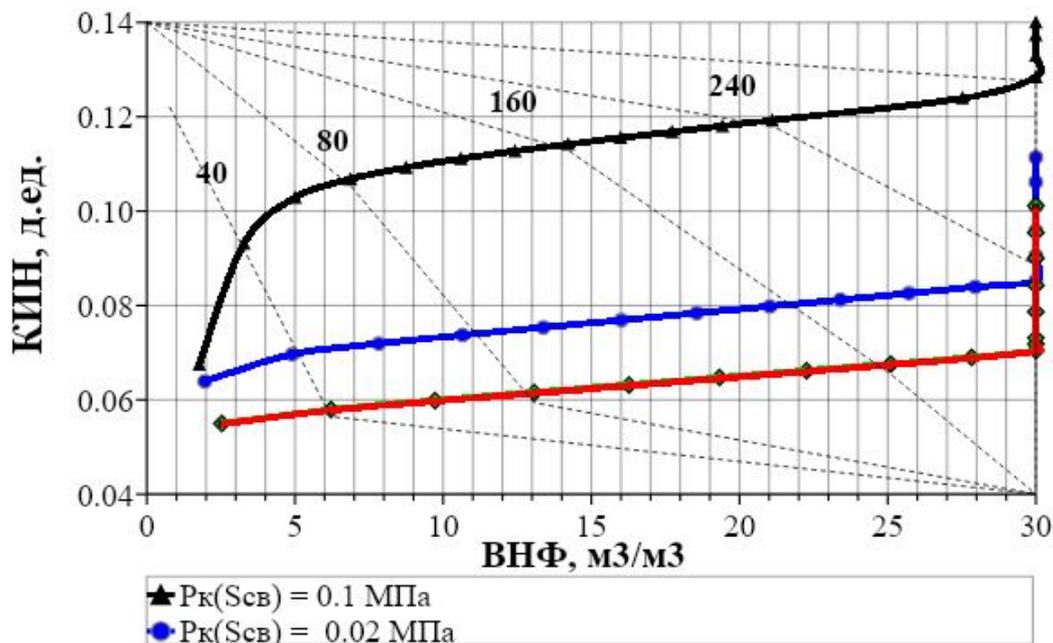


Рис 1. Зависимости КИН от ВНФ при различных дебитах скважины (за 30 лет)

Вывод. Величина КИН не превосходит 11 % в случае гидрофильного коллектора и 7 % - слабо гидрофильного коллектора. Для вариантов с гидрофобным коллектором и без учета эффектов смачивания - не превосходит 6 % и примерно соответствует извлекаемым запасам нефти в суперколлекторе. Т.о., в гидрофильном пласте вклад пропитки в нефтеизвлечение находится в интервале от 2 до 5 % от извлекаемых запасов.

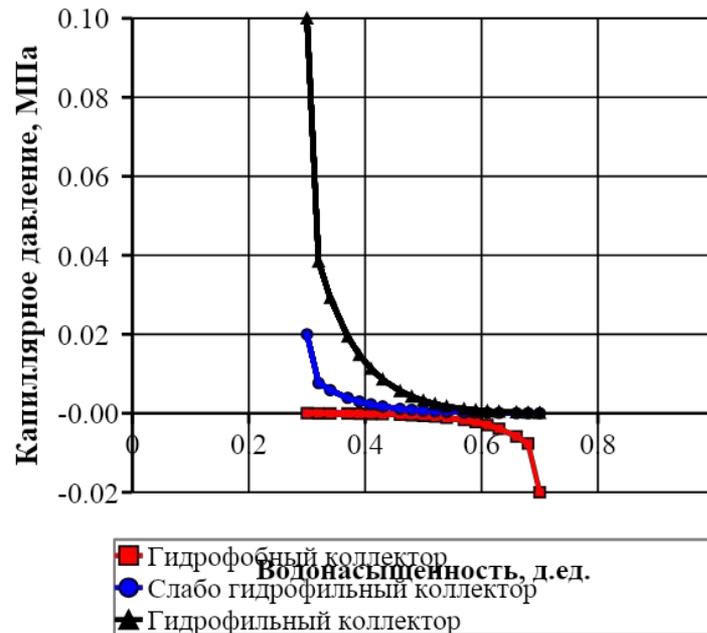


Рис 2. Зависимости капиллярного давления

Закономерности влияние совокупности факторов на механизмы нефтеизвлечения при стационарном заводнении (3)

Оценка влияния положения суперколлектора на эффективность нефтеизв-ия.

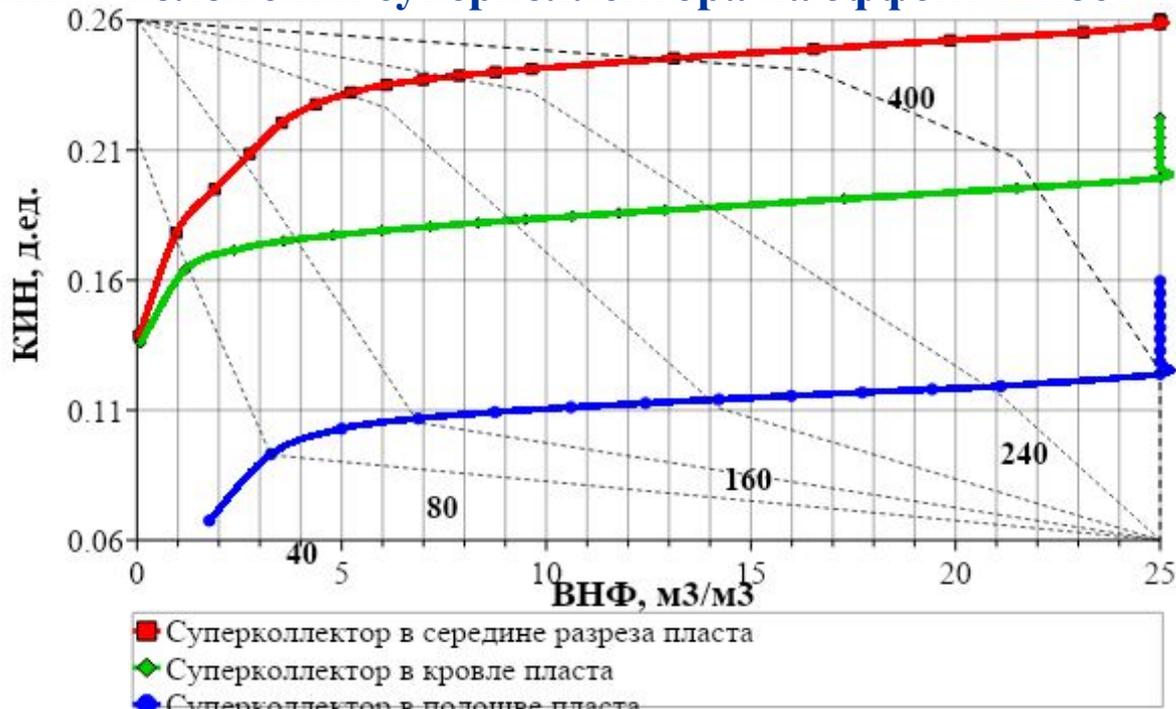
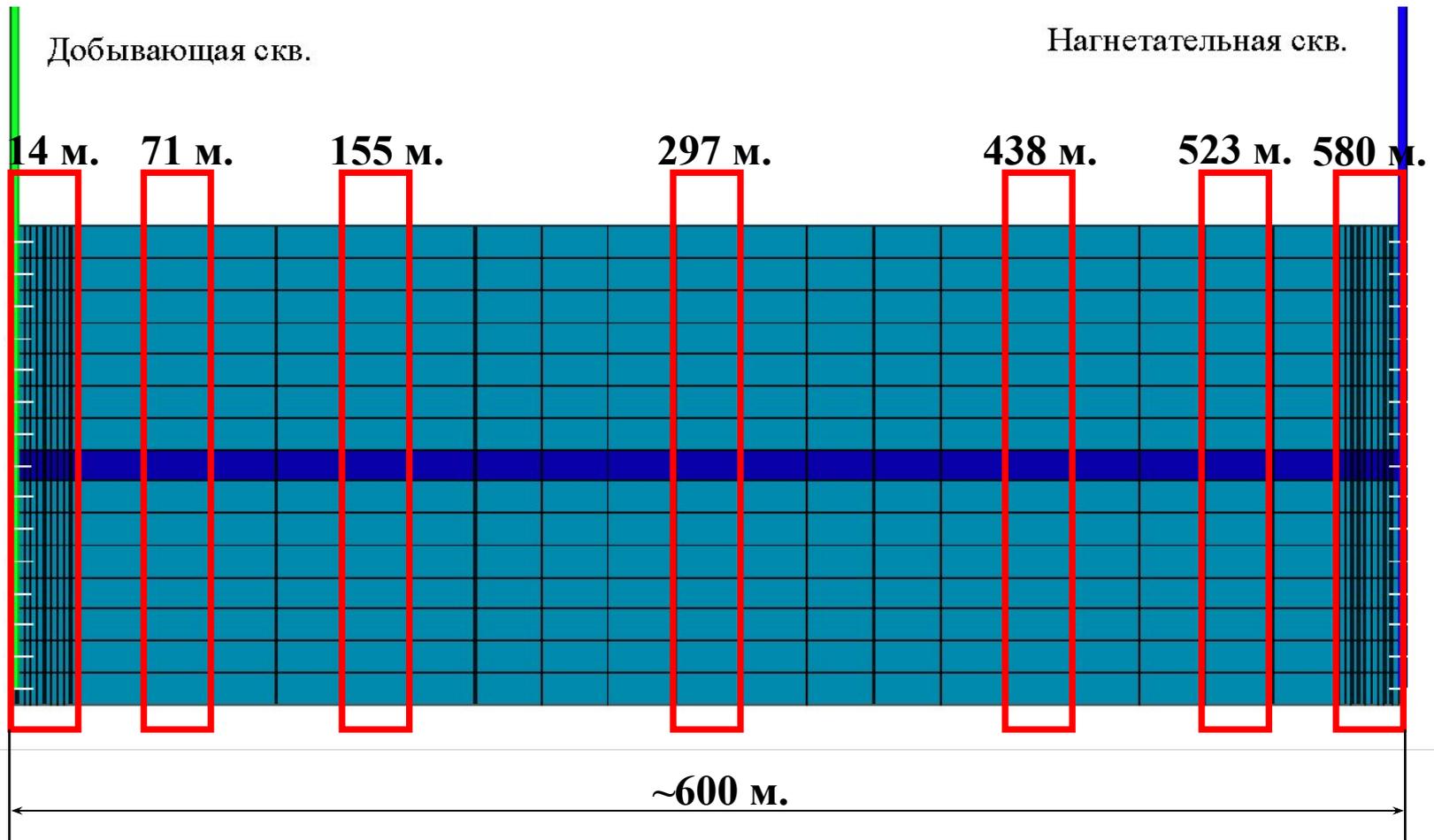


Рис. Зависимости КИН от ВНФ при различных дебитах скважины (за 30 лет)

Вывод. В зависимости от положения суперколлектора влияние капиллярной пропитки различно и определяется поверхностью контакта суперколлектора и основного пласта. Так, при среднем расположении суперколлектора капиллярный режим протекает при больших значениях дебитов. Критический дебит находится в интервале от 120 до 140 м³/сут.

Физические основы циклического заводнения

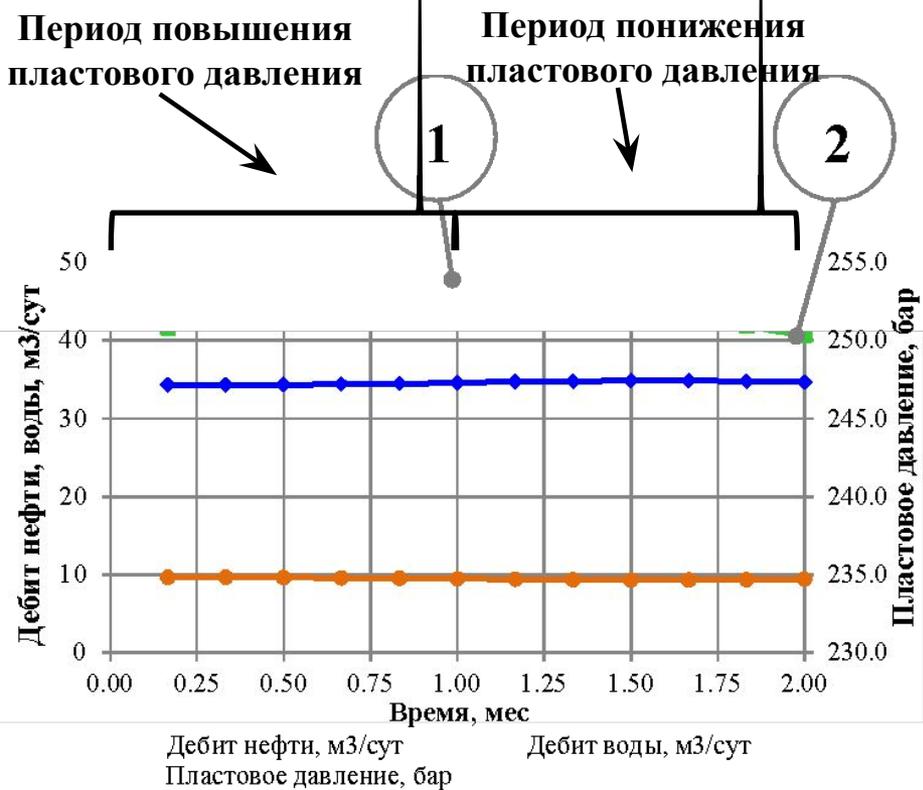
Методика вывода распределения давления по разрезу пласта



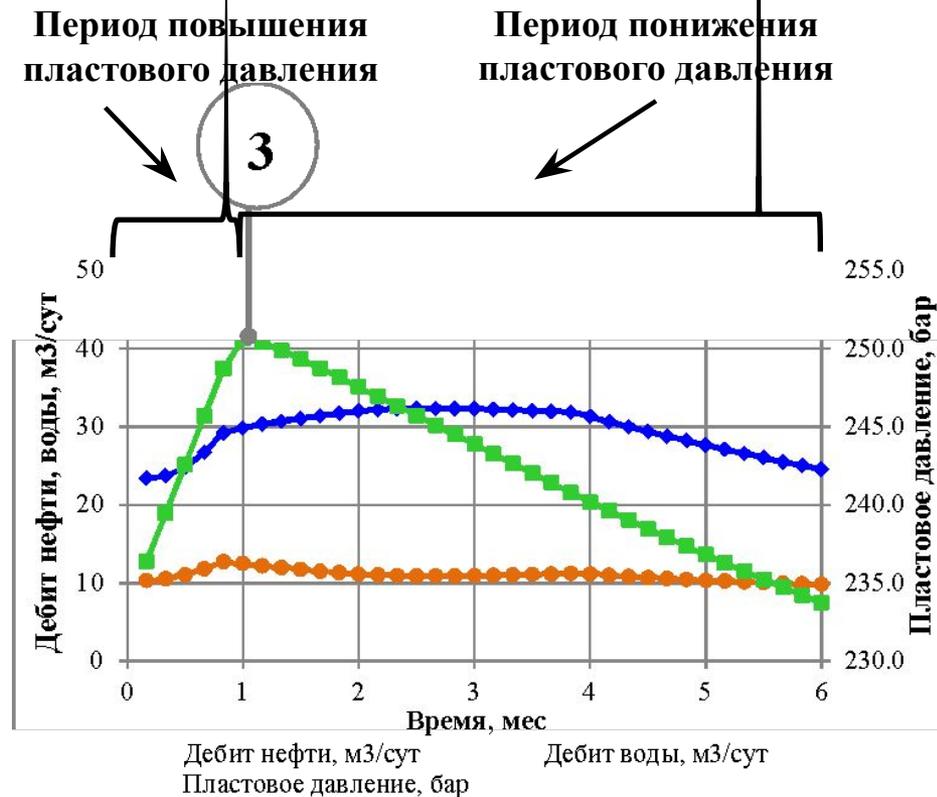
Каждой ячейке выделенного столбика присваивается регион и выводятся значения пластового давления

Физические основы циклического заводнения

Интенсификация гидродинамических градиентов давления при циклическом заводнении с продолжительным периодом падения пластового давления (по сравнению с периодом повышения пластового давления)



Полный цикл 1/1 с отметками моментов времени

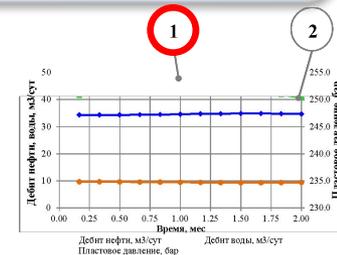
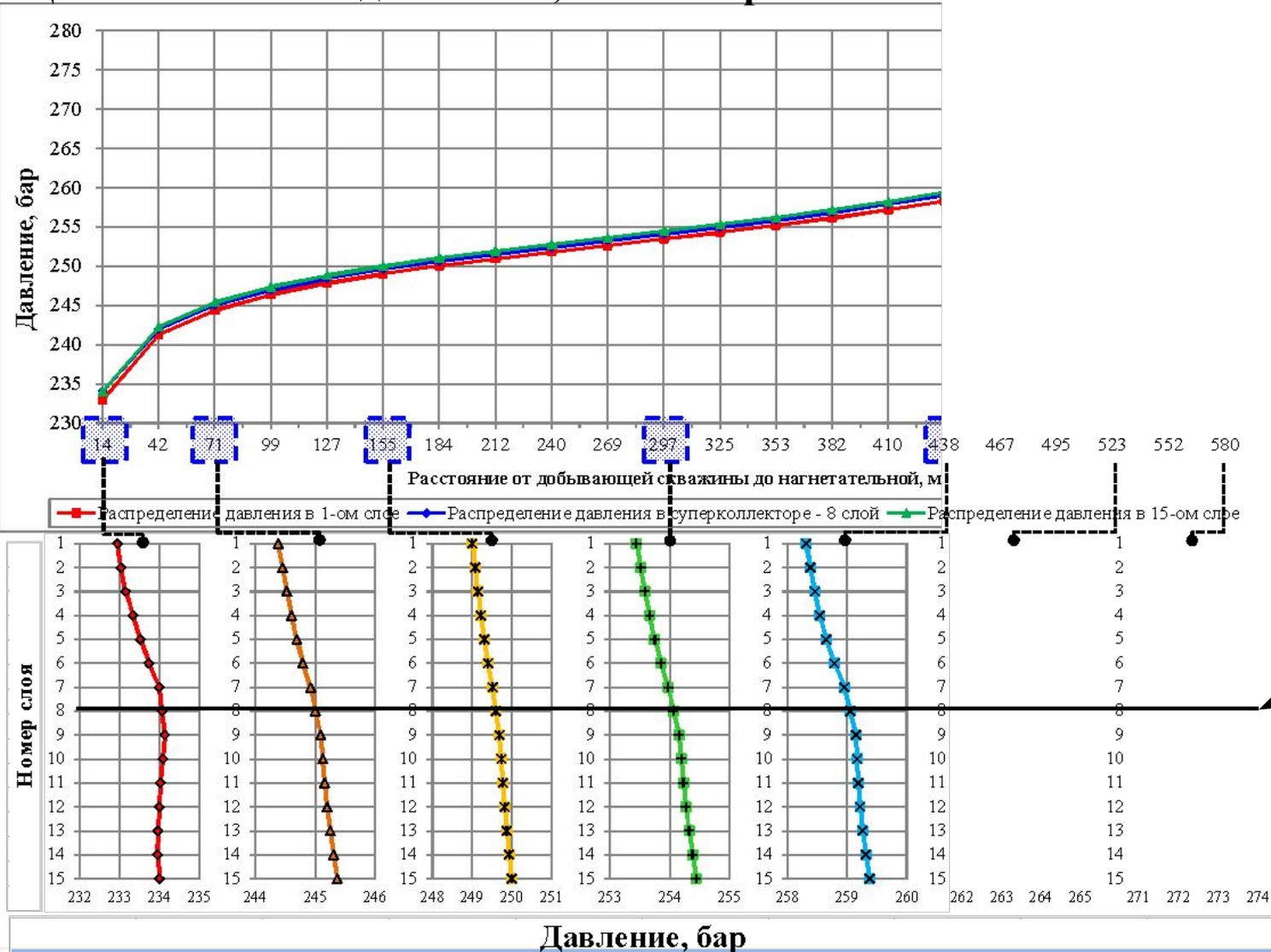


Полный цикл 1/5 с отметками моментов времени



Физические основы циклического заводнения

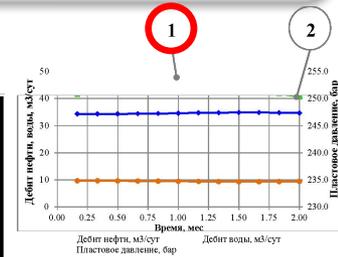
Циклическое заводнение 1/1, момент времени 1



Расположение суперколлектора

Физические основы циклического заводнения

Циклическое заводнение 1/1, момент времени 1



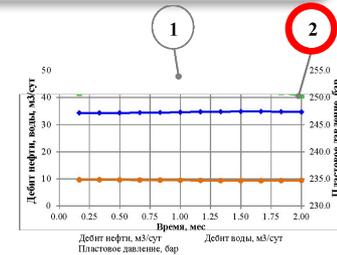
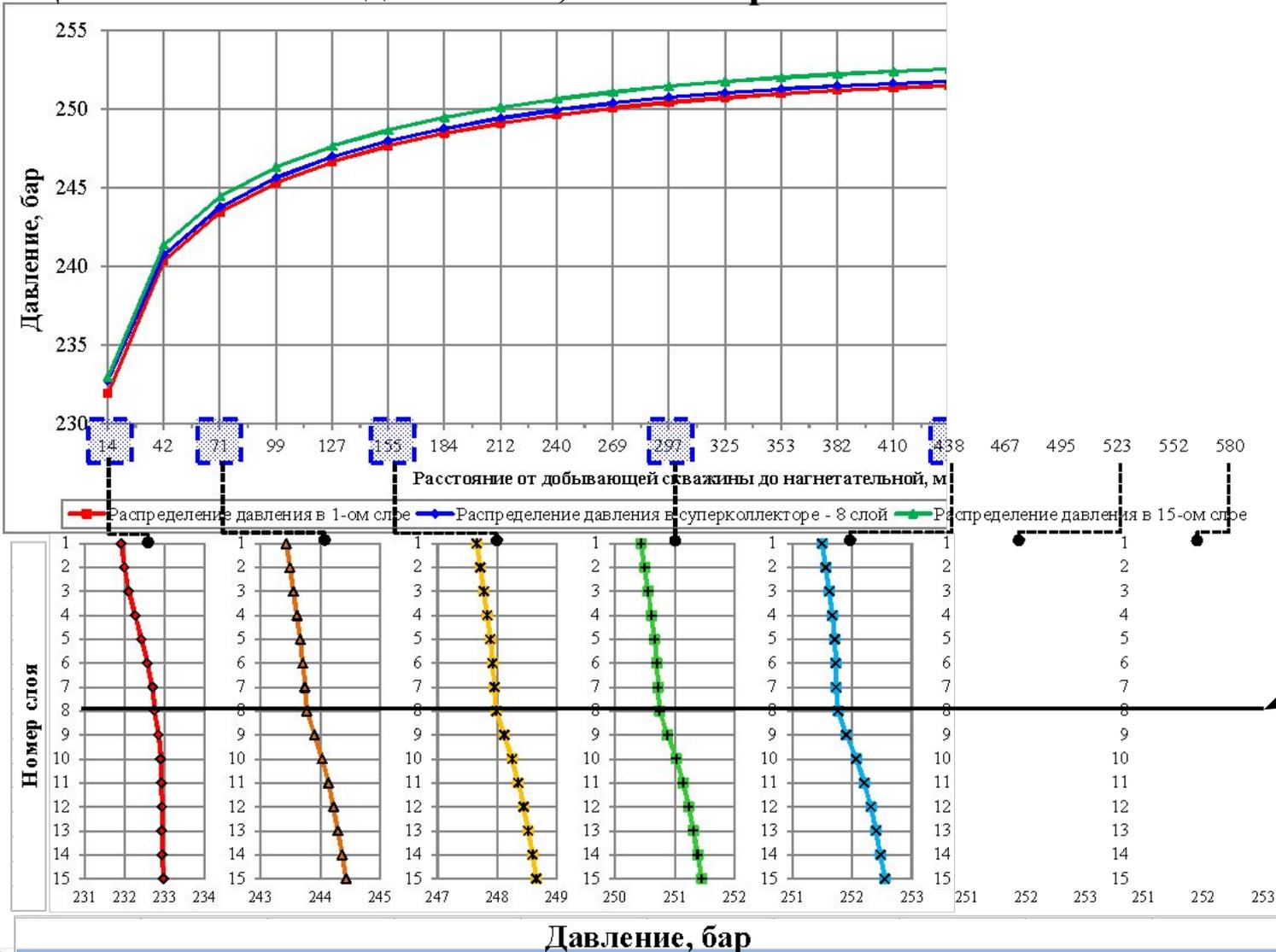
Расположение суперколлектора

Вектора тока фаз в зонах над суперколлектором:

Зеленый – вектора тока нефти, **синий** – вектора тока воды

Физические основы циклического заводнения

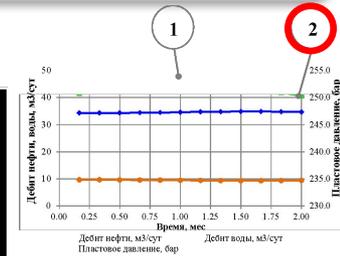
Циклическое заводнение 1/1, момент времени 2



Расположение суперколлектора

Физические основы циклического заводнения

Циклическое заводнение 1/1, момент времени 2



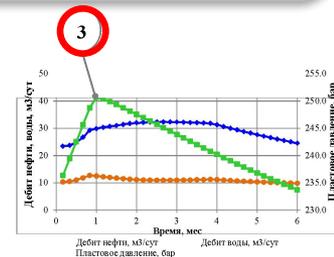
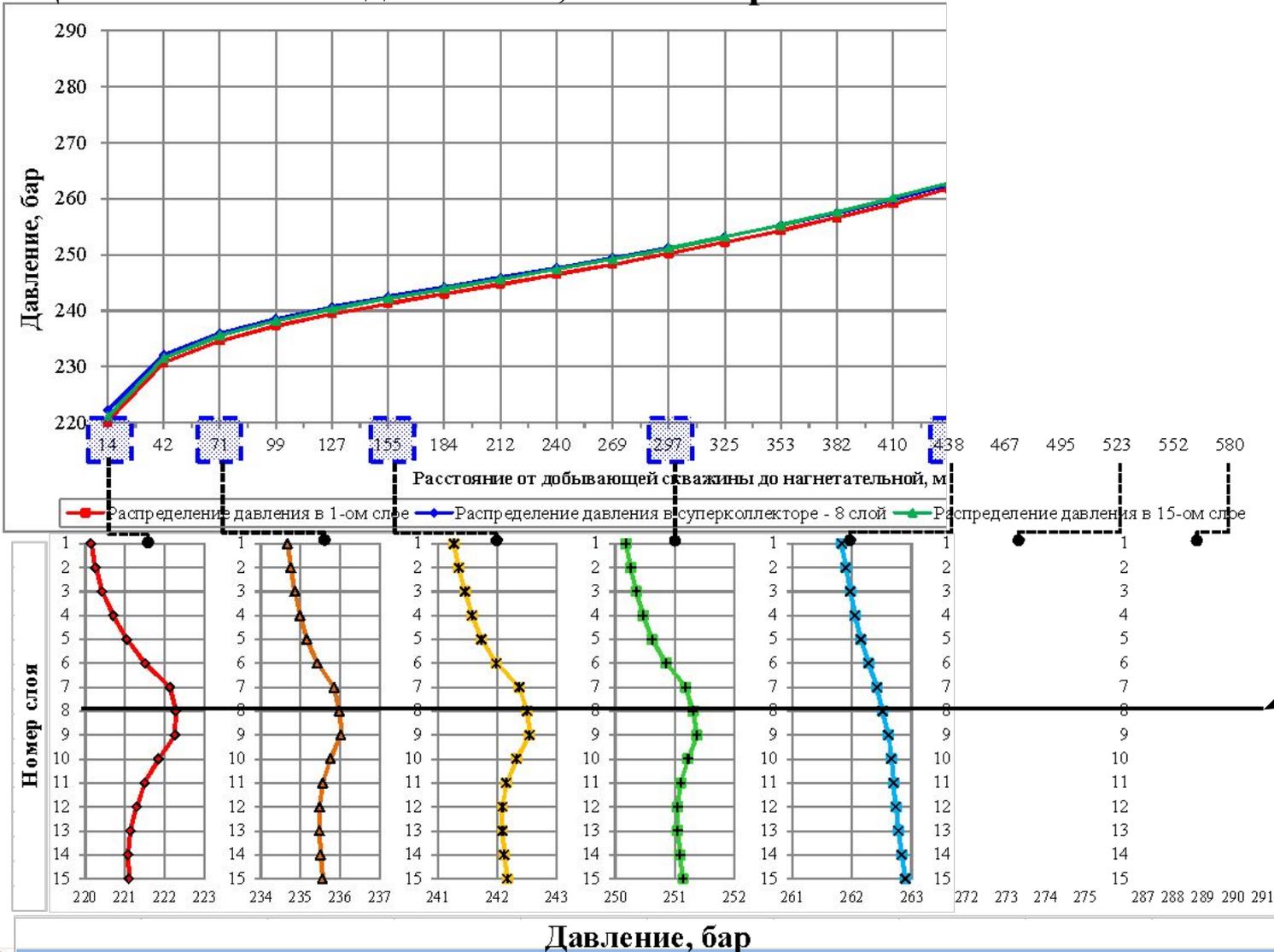
Расположение суперколлектора

Вектора тока фаз в зонах над суперколлектором:

Зеленый – вектора тока нефти, **синий** – вектора тока воды

Физические основы циклического заводнения

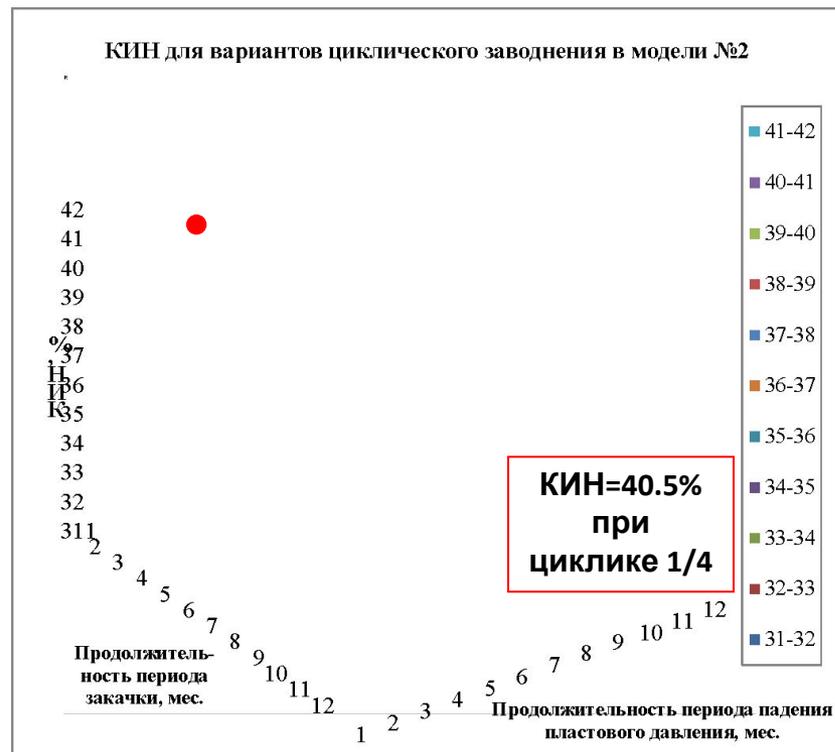
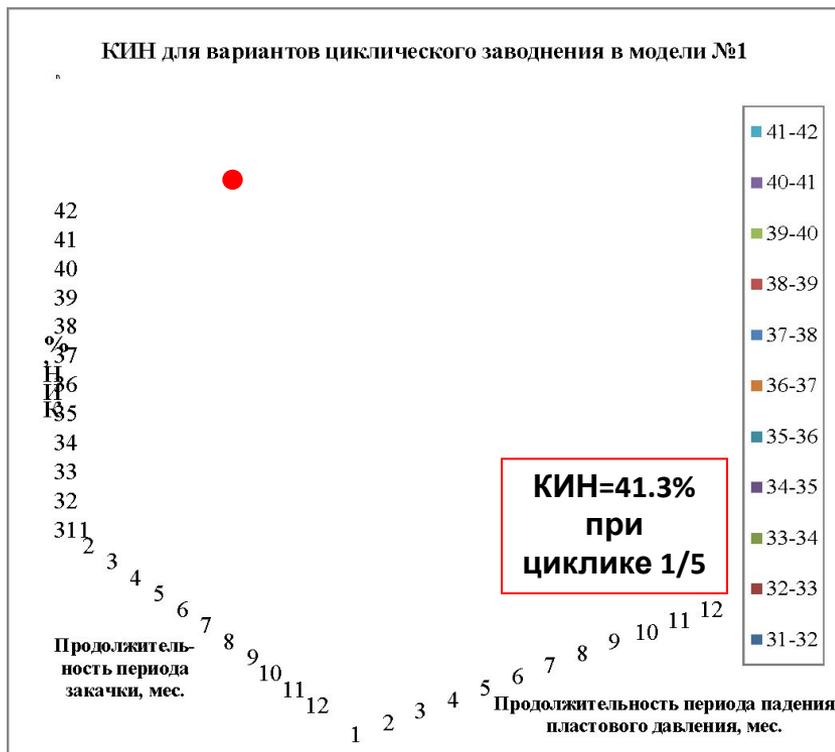
Циклическое заводнение 1/5, момент времени 3



Расположение суперколлектора

Физические основы циклического заводнения

Деформационные процессы. Высокая сжимаемость пласта при наличии суперколлетора в разрезе позволяет реализовать несимметричные циклы с продолжительным периодами падения пластового давления. В этом случае активизируется упруго-капиллярный механизм нефтеизвлечения. Обобщение результатов исследований позволяет получить новые критерии применения циклического заводнения – управляемый упругий режим.



Высокая степень упругих деформаций

Средняя степень упругих деформаций

Закономерности влияние совокупности факторов на механизмы нефтеизвлечения при циклическом заводнении

Оценка влияния продолжительности периода снижения пластового давления

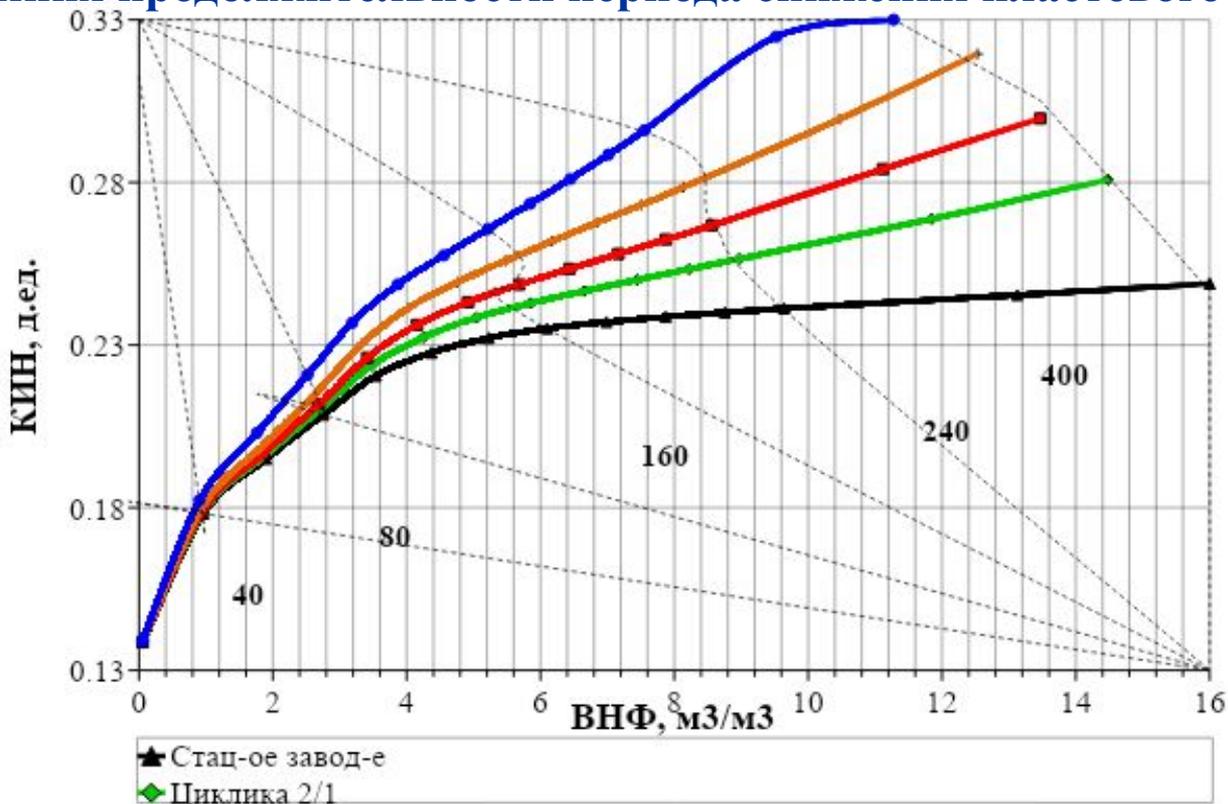
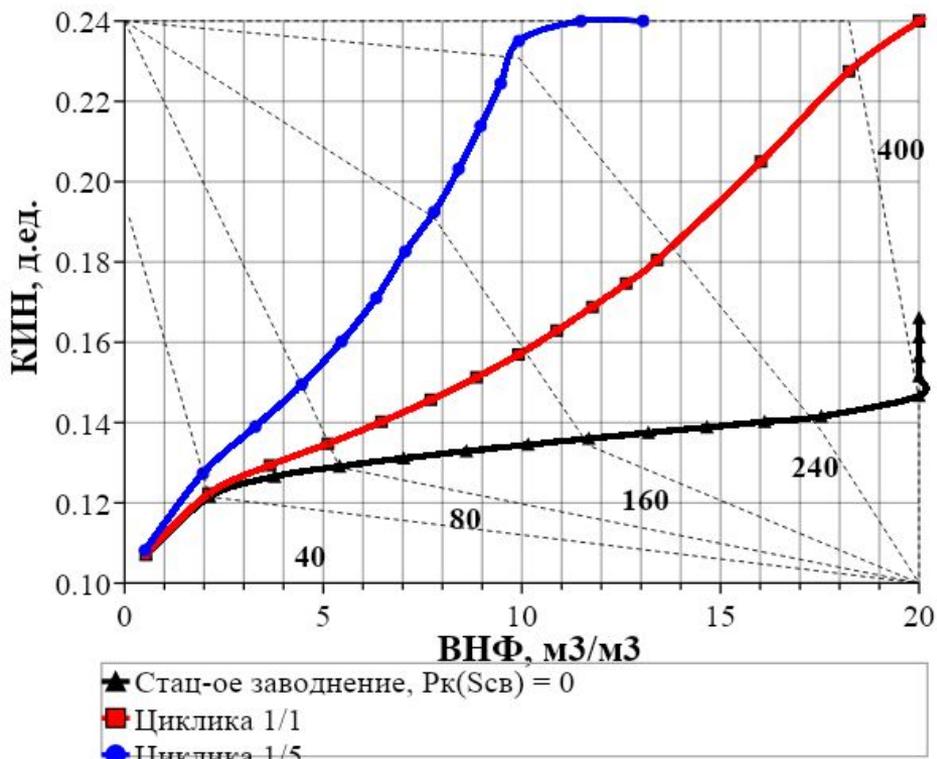


Рис. Зависимости КИН от ВНФ при различных дебитах скважины (за 30 лет)

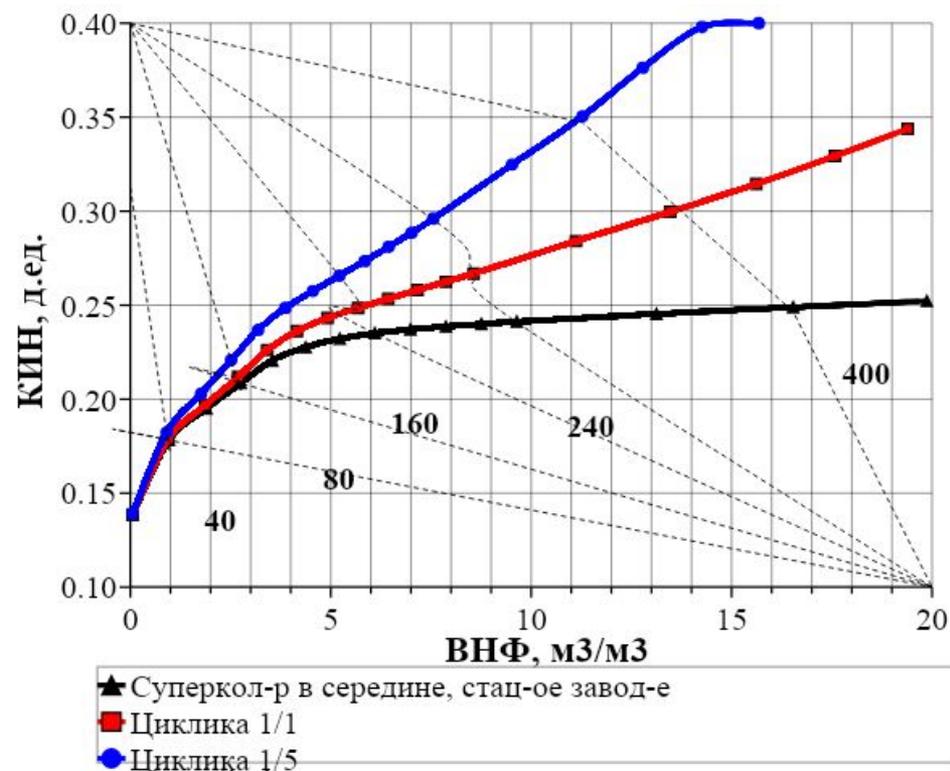
Вывод. Эффективность циклического заводнения увеличивается при увеличении продолжительности периода снижения пластового давления – т.е. при увеличении несимметричности циклов в сторону увеличения периода понижения пластового давления.

Закономерности влияние совокупности факторов на механизмы нефтеизвлечения при циклическом заводнении

Оценка влияния условий смачивания основного пласта.



Без учета смачивания ($P_k=0$)

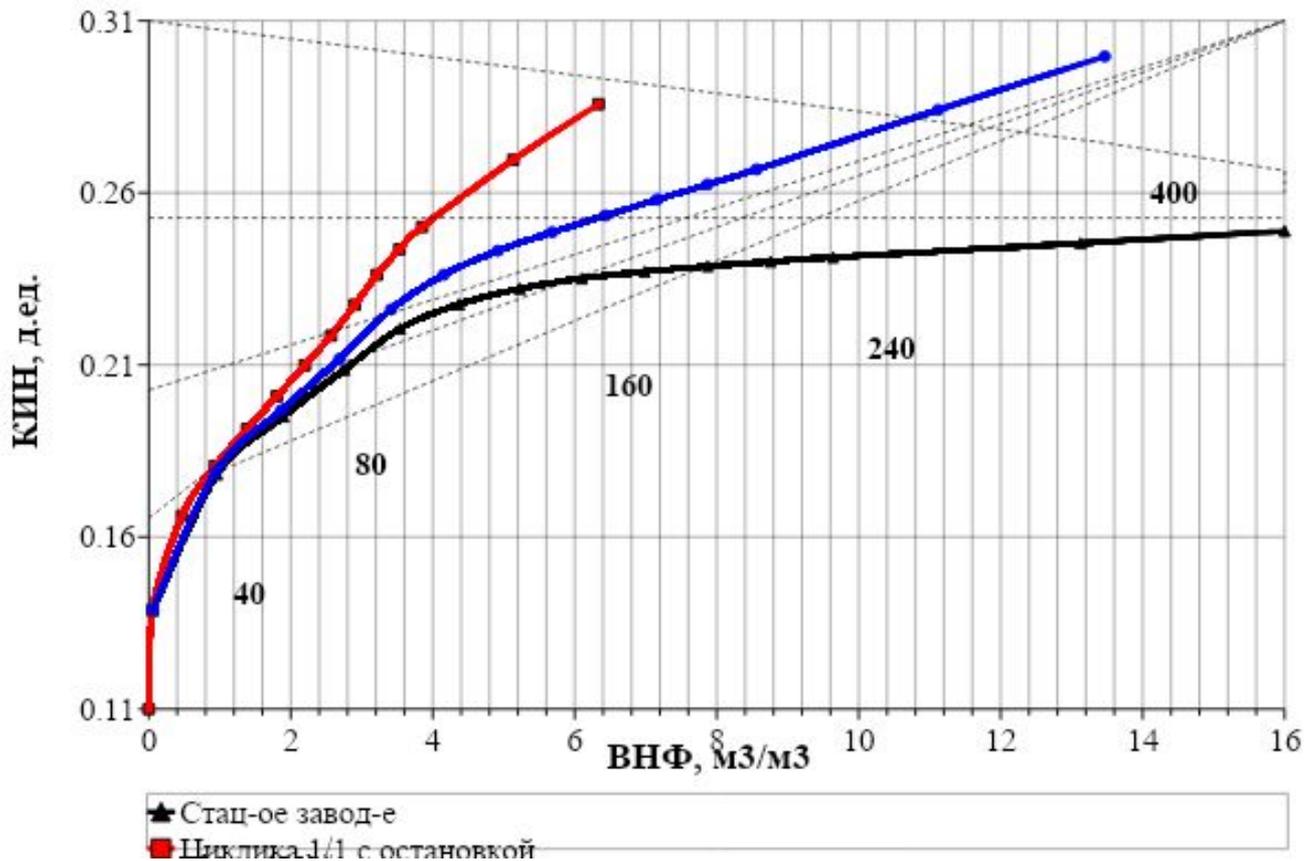


Гидрофильный коллектор

Вывод. Относительное увеличение КИН при циклическом заводнении выше в вариантах с безразличным типом смачивания основного коллектора (или гидрофобных коллекторах).

Закономерности влияние совокупности факторов на механизмы нефтеизвлечения при циклическом заводнении

Оценка влияния остановки добывающей скважины в период закачки



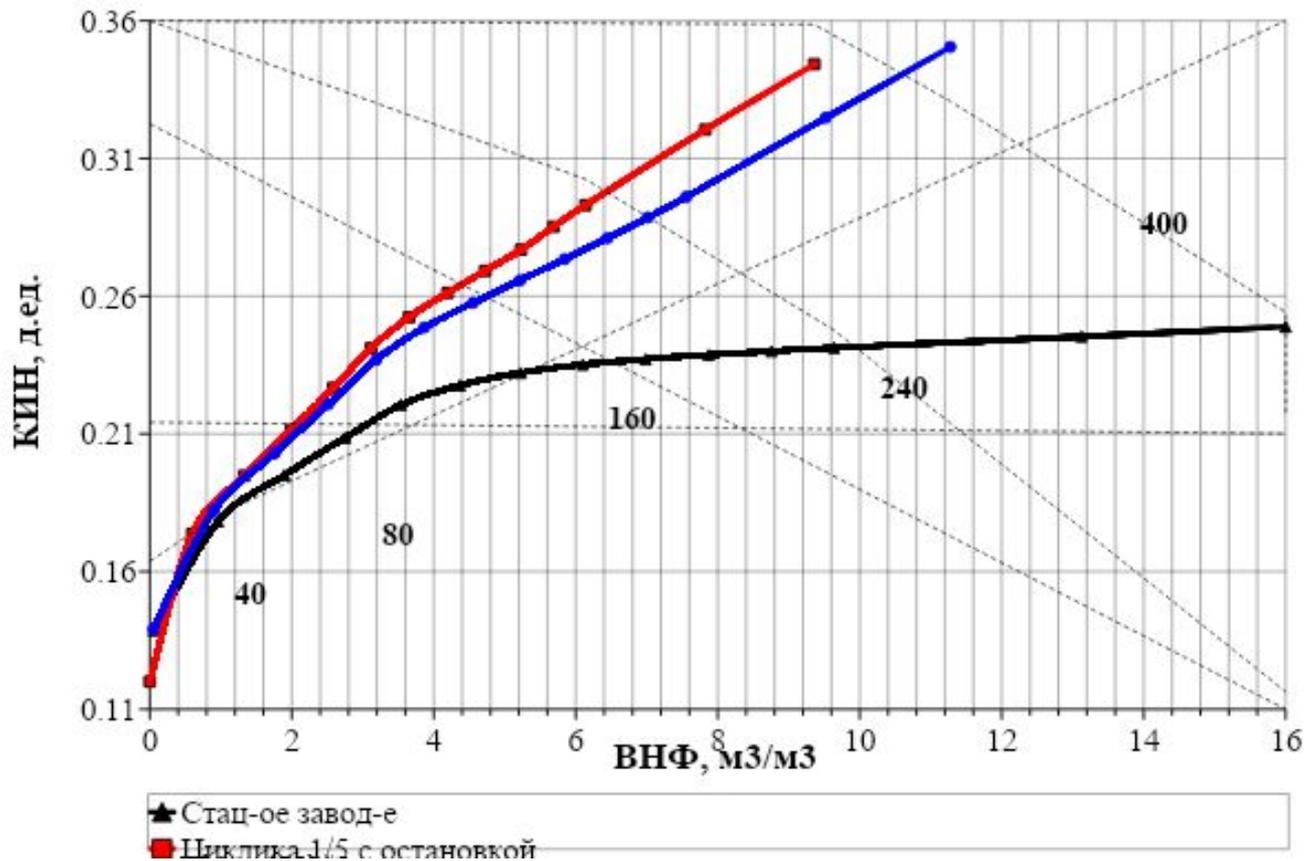
Циклическое заводнение 1/1

Рис. Зависимости КИН от ВНФ при различных дебитах скважины (за 30 лет)

Вывод. Остановка добывающей скважины в период закачки при циклическом заводнении с продолжительностями периодов 1/1 позволяет значительно снизить водонефтяной фактор.

Закономерности влияние совокупности факторов на механизмы нефтеизвлечения при циклическом заводнении

Оценка влияния остановки добывающей скважины в период закачки



Циклическое заводнение 1/5

Рис. Зависимости КИН от ВНФ при различных дебитах скважины (за 30 лет)

Вывод. Остановка добывающей скважины в период закачки при циклическом заводнении с продолжительностями периодов 1/5 позволяет лишь незначительно снизить водонефтяной фактор.

Повышение эффективности разработки при циклическом заводнении на примере одного из месторождений Западной Сибири

Продуктивный пласт месторождения «N» Западной Сибири имеет сложное геологическое строение, выраженное наличием резкой послойной неоднородности коллекторских свойств. Подошвенная часть пласта имеет низкие фильтрационные свойства, представлена алевритами, средняя проницаемость менее 0.02 мкм^2 . В кровельной части разреза выделены высокопродуктивные интервалы, сложенные крупнозернистыми песчаниками проницаемостью порядка 1 мкм^2 . Соотношение толщин высокопродуктивных и низкопродуктивных отложений меняется по площади, от преобладания первых и наоборот.

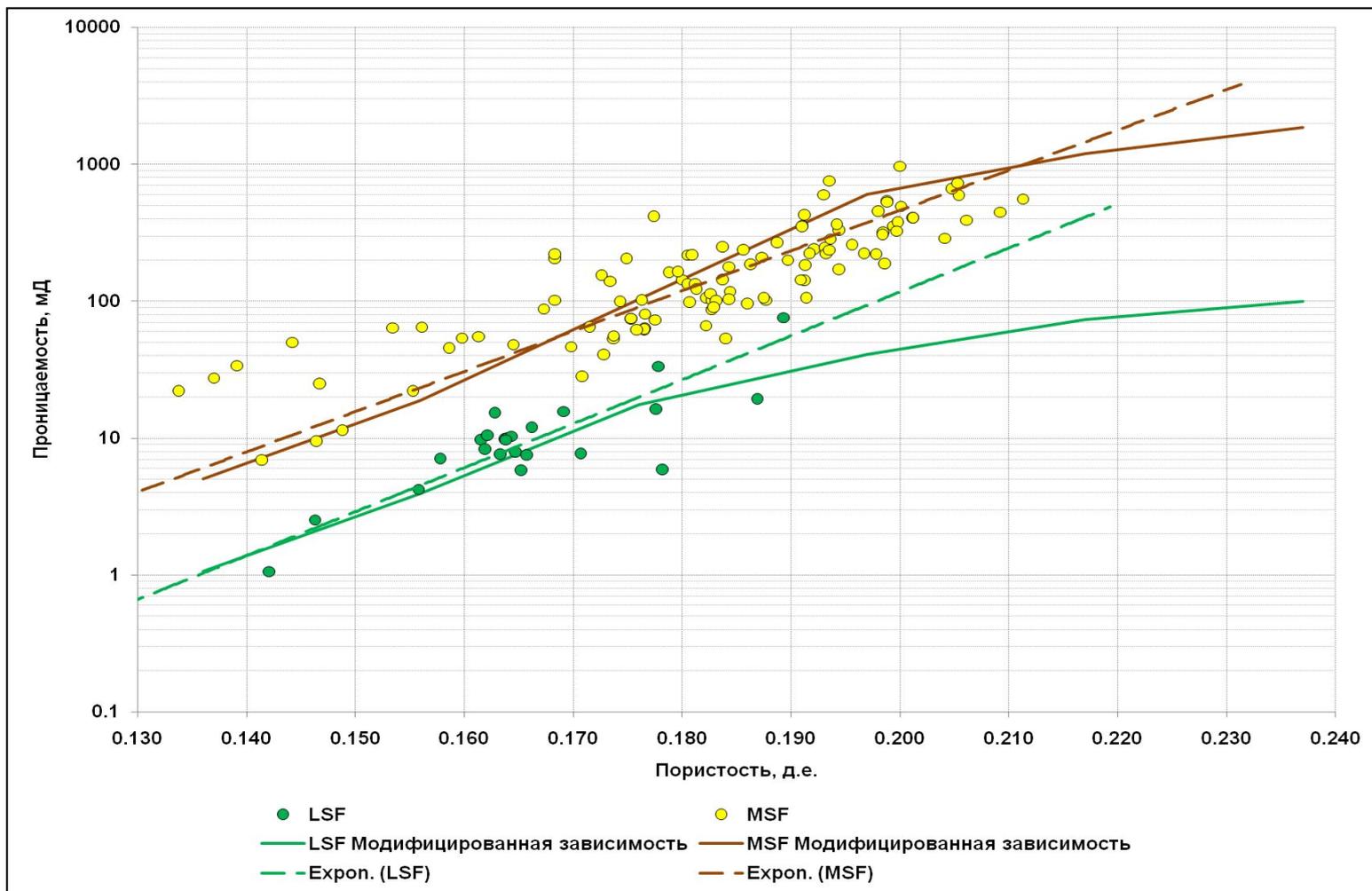
Высокая проницаемость отложений верхней части разреза подтверждена при гидродинамических исследованиях скважин, а именно при испытаниях скважин на различных режимах (построение индикаторных диаграмм) и гидропрослушиваниях.

На основе промысловой информации о режимах работы возбуждающих скважин и замерах давлений в реагирующих скважинах была произведена настройка гидродинамической модели. Адаптация к фактическим замерам давлений произведена при помощи модификации зависимости проницаемости от пористости.



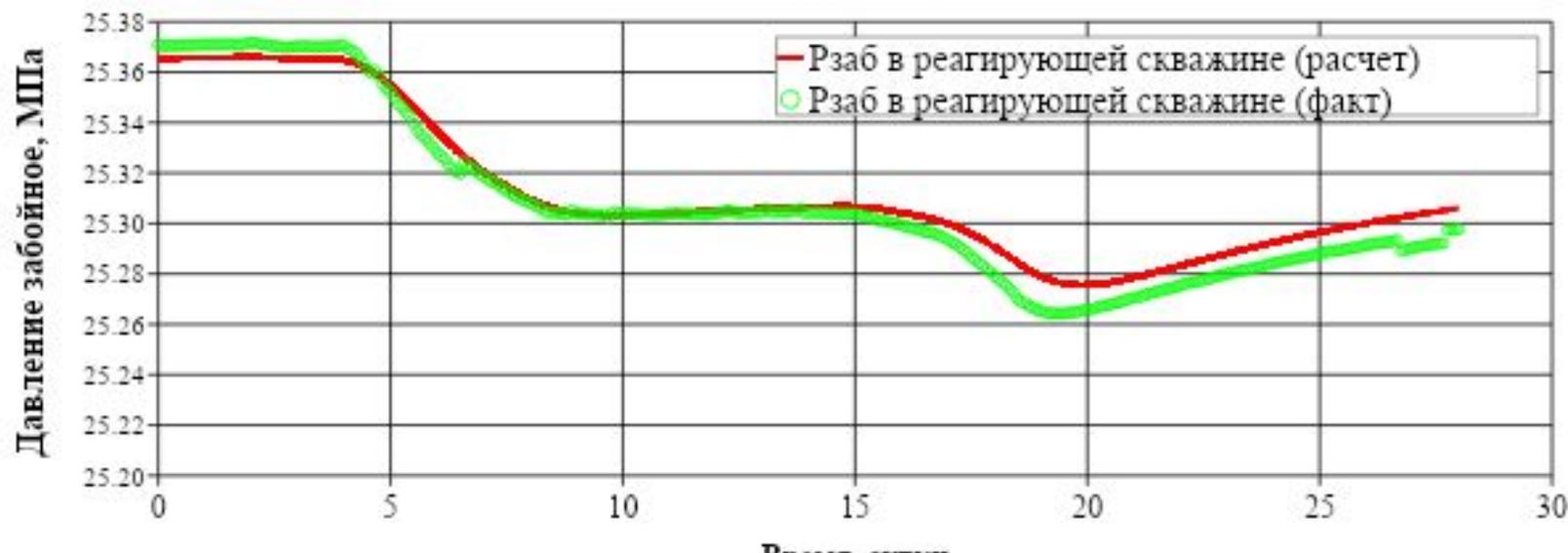
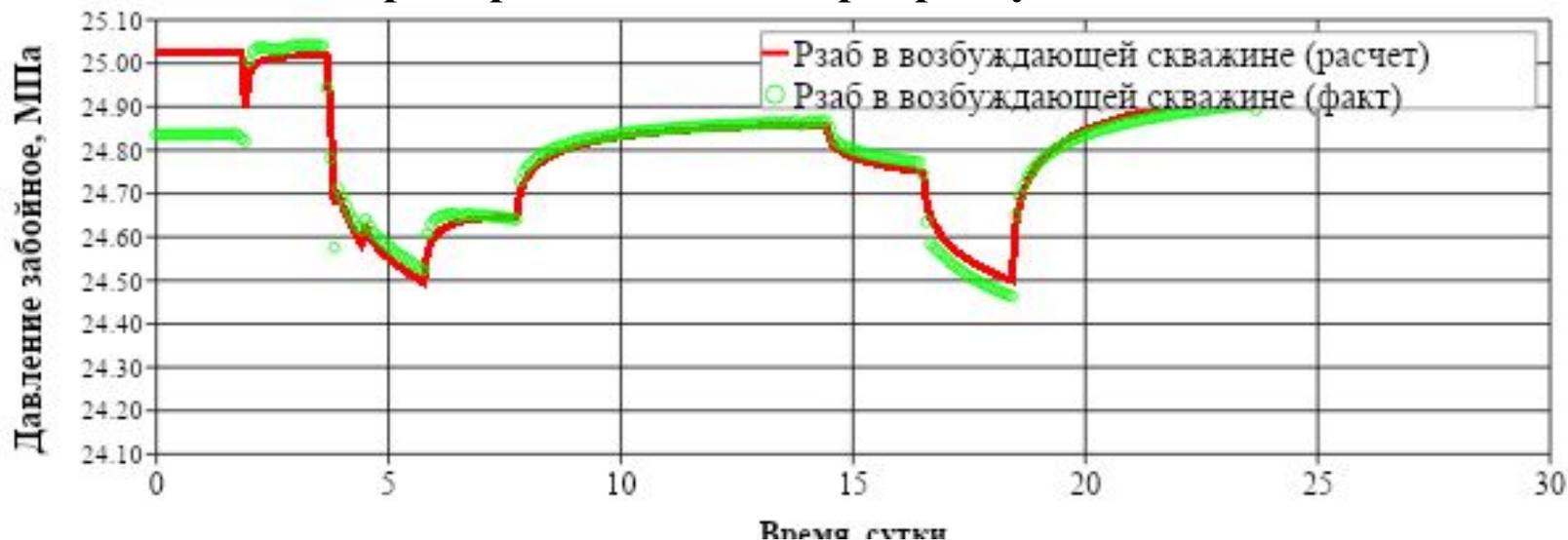
Повышение эффективности разработки при циклическом заводнении на примере одного из месторождений Западной Сибири

Зависимости проницаемости от пористости для низкопроницаемых и высокопроницаемых отложений до адаптации (пунктирная линия) и после



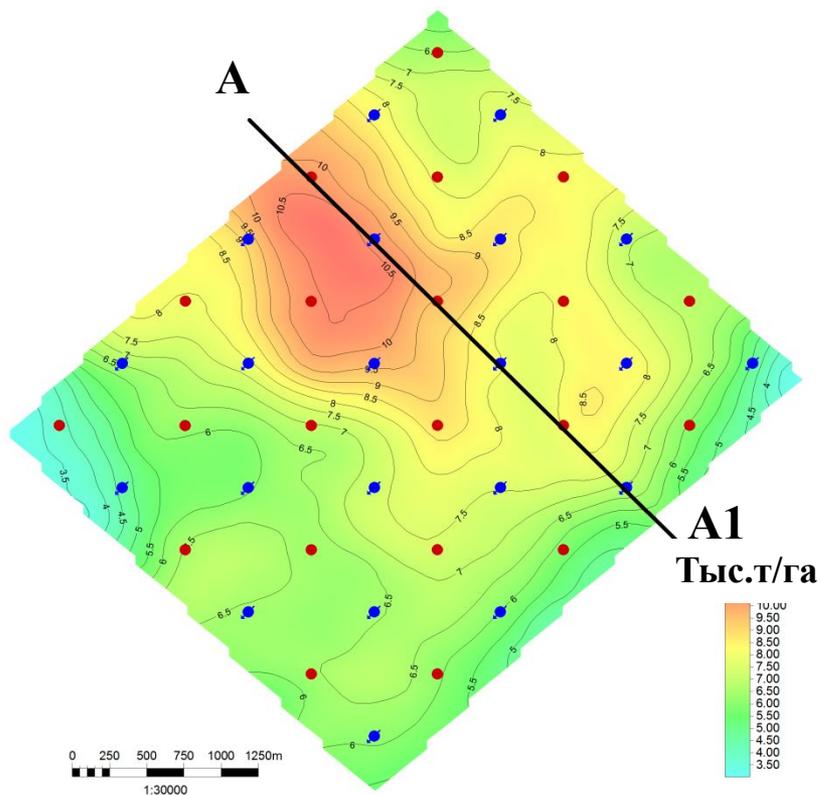
Повышение эффективности разработки при циклическом заводнении на примере одного из месторождений Западной Сибири

Пример адаптации гидропрослушивания

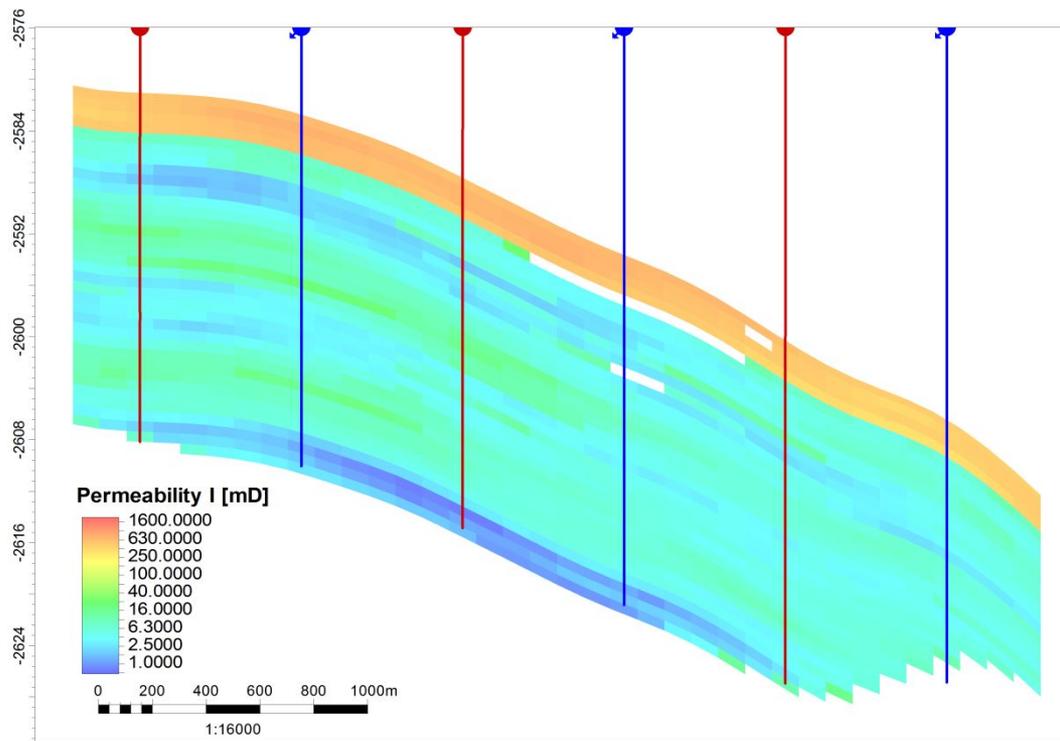


Повышение эффективности разработки при циклическом заводнении на примере одного из месторождений Западной Сибири

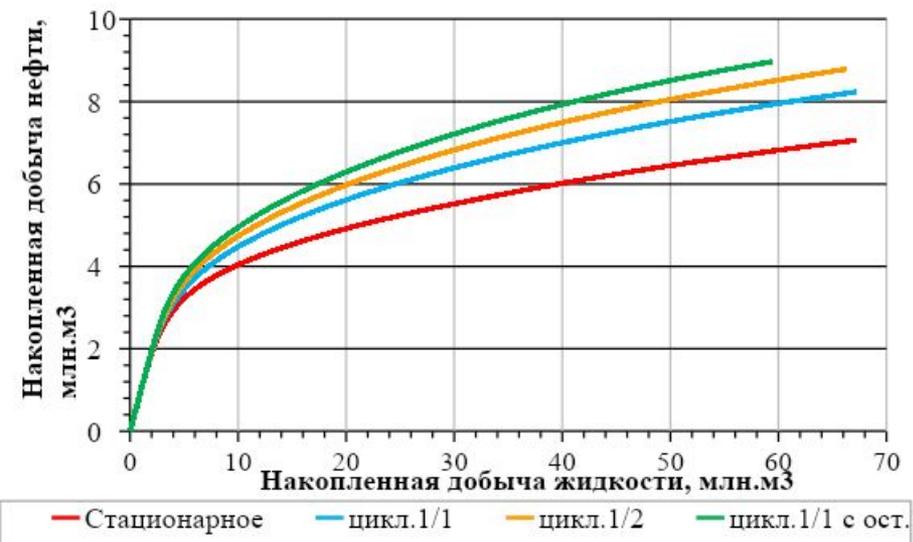
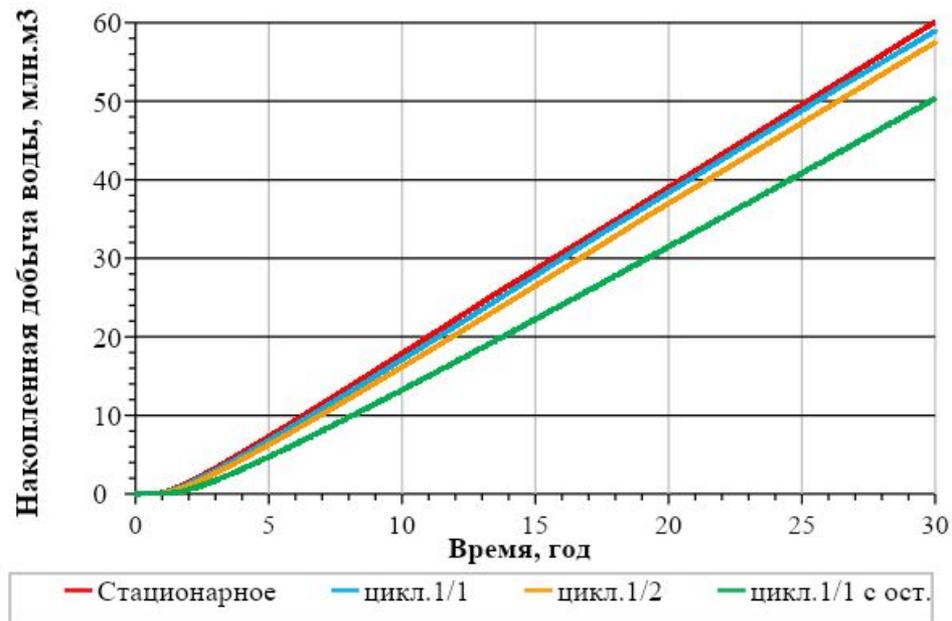
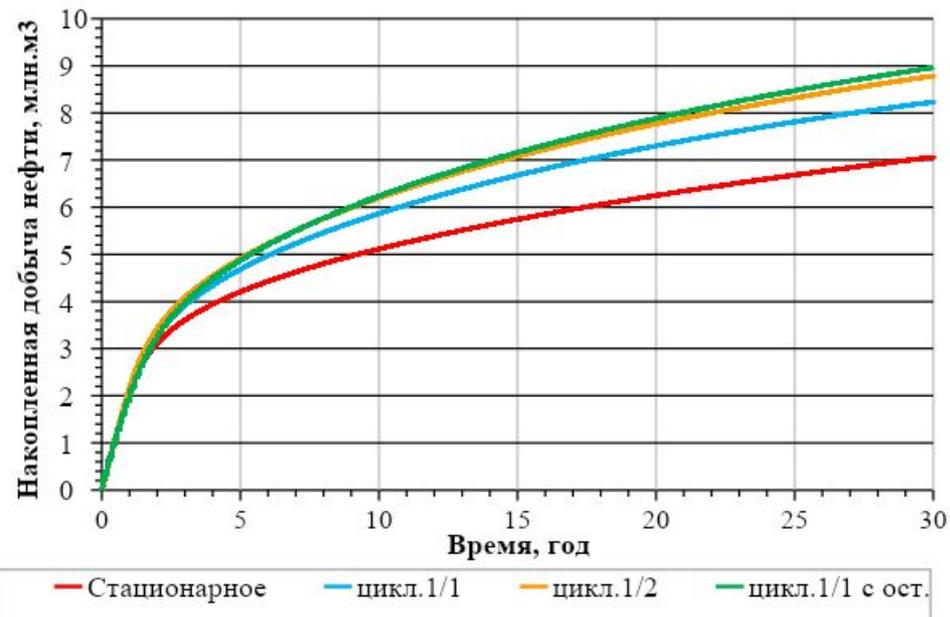
Карта начальных подвижных запасов нефти



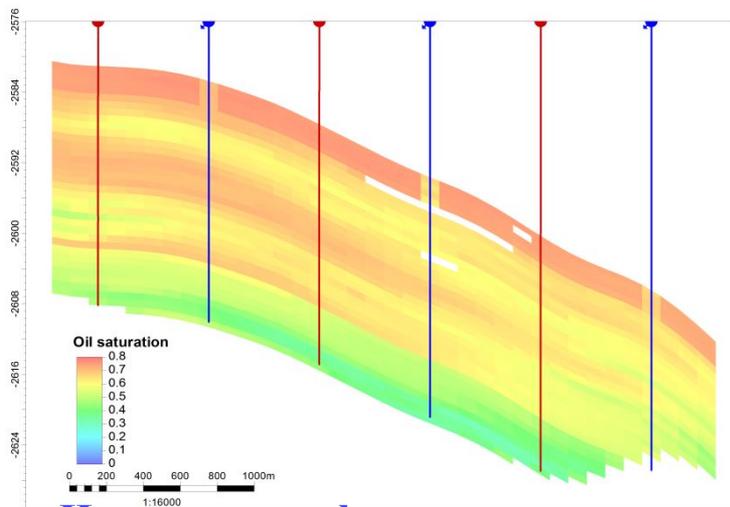
Разрез куба проницаемости по линии А-А1



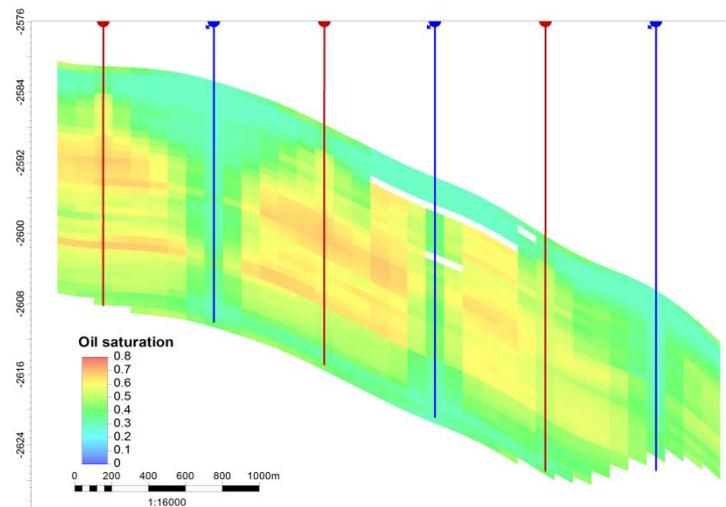
Повышение эффективности разработки при циклическом заводнении на примере одного из месторождений Западной Сибири



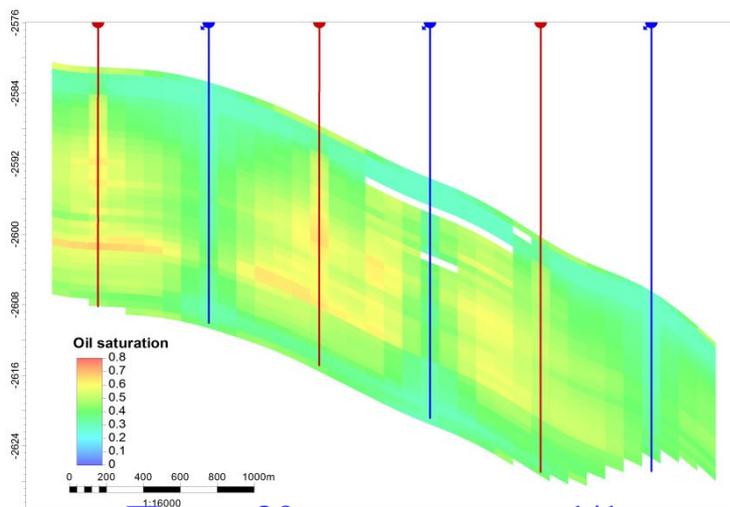
Повышение эффективности разработки при циклическом заводнении на примере одного из месторождений Западной Сибири



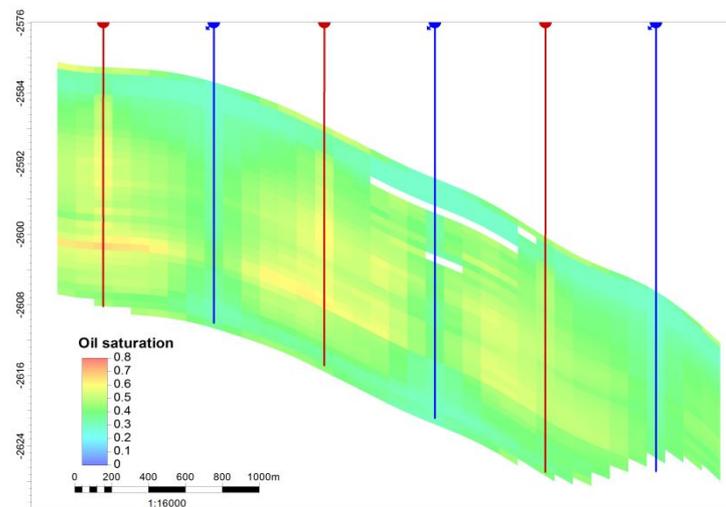
Начальная нефтенасыщенность



После 30 лет заводнения



После 30 лет циклики 1/1



После 30 лет циклики 1/2

Основные выводы

1. На основе обобщения теоретических, экспериментальных и промысловых исследований показано, что до настоящего времени критерии применения циклического заводнения неоднородных коллекторов недостаточно полно учитывают механизмы нефтеизвлечения в различных геолого-промысловых условиях и нуждаются в дополнительном изучении. В первую очередь это относится к пластам с суперколлекторами.

2. Разработана методика планирования, проведения и анализа результатов численных исследований, позволяющая повысить достоверность оценки влияния механизмов нефтеизвлечения за счет обоснования условий проведения расчетов.

3. На основе разработанной методики получены значения критических дебитов скважин при стационарном заводнении, достижение которых обеспечивает наибольшую эффективность капиллярного режима разработки при достижении заданного значения ВНФ за расчетный период. Получены закономерности изменения критического дебита в различных геолого-промысловых условиях.

Основные выводы

4. На базе разработанных научно-методических основ циклического заводнения пластов с суперколлектрами обоснованы режимы работы добывающих и нагнетательных скважин, позволяющие обеспечить наиболее полное использование механизмов нефтеизвлечения. Обоснованы следующие основные технологические решения:

- максимальная продолжительность полного цикла при его максимальной асимметрии (продолжительные периоды падения пластового давления);
- остановка добывающей скважины в период закачки – управляемый упругий режим.

5. Эффективность выработанных технологических решений показана для пласта с резкой неоднородностью одного из месторождений Западной Сибири: использование выявленных закономерностей позволило достичь относительное увеличение КИН на 27% при относительном снижении ВНФ на 34 %.



Научная новизна

1. Для различных природных условий пластов с суперколлектором получены значения рациональных (критических) дебитов скважин, при достижении которых имеет место наибольшая эффективность капиллярного режима разработки при обеспечении заданное значение ВНФ за расчетный период.

2. Впервые выявлены закономерности влияния природных факторов и технологических параметров на эффективность технологии циклического заводнения пластов с суперколлекторами, основанные на оценке комплексного влияния механизмов нефтеизвлечения.

3. Разработаны научно-методические основы технологии циклического заводнения с продолжительным периодом падения пластового давления, позволяющие существенно повысить эффективность нефтеизвлечения за счет активизации упруго-капиллярных и гидродинамических механизмов.

4. Выявлено, что протекание упругих деформаций позволяет увеличить продолжительность периода снижения пластового давления и соответственно интенсифицировать обмен флюидами между суперколлектором и основным пластом.

5. Предложена технологическая схема циклического заводнения (управляемый упругий режим), при которой осуществляется остановка добывающей скважины в период закачки, что способствует активизации вертикального внедрения воды в низкопроницаемые разности и, следовательно, увеличению охвата пласта заводнением и снижению водонефтяного фактора.

Спасибо за внимание!