

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ НА КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Петраков Андрей Михайлович

Директор Центра ФХИ АО «ВНИИНефть», д.т.н., профессор, действ.член
РАЕН

Коллектив авторов

АО «ВНИИНефть», РФ, Москва

АО «ВНИИНефть-Западная Сибирь», РФ, Тюмень

ООО «СК «Русвьетпетро», РФ, Москва

ООО «ЗАРУБЕЖНЕФТЬ-добыча Харьяга», РФ, Москва

ИСТОРИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ

Впервые предложение об эффективности нестационарного воздействия на нефтяную залежь было высказано М.Л. Сургучевым в конце 50-х годов, после получения результатов анализа реконсервации залежи пласта Б2 месторождения Яблоневый Овраг и заводнения основного пласта Ново-Степановского участка Калиновского месторождения, которое по техническим и природно-климатическим причинам носило периодический характер.

Основной объем опытно-промышленных работ начат в 1970 - 1974 гг. в Западной Сибири, в 1970 г. проведено опробование метода на Трехозерном месторождении, а в Татарии в 1972 г. на центральном участке Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения.

В 1970-1980 гг. метод выполнялись промысловые испытания на ряде месторождений Западной Сибири, Татарии, Куйбышевской области, Предкарпатья и т.д.

По результатам испытаний - РД 39-1-72-78 Руководство по проектированию и применению циклического заводнения

Экспериментальными исследованиями А.А. Боксермана, В.Г. Оганджянца, А.И. Губанова и других, показано, что:

- при циклическом заводнении период снижения пластового давления характеризуется интенсивным перераспределением жидкостей в пласте за счет капиллярной пропитки, в результате чего водонасыщенность более проницаемого (обводненного) слоя заметно уменьшается за счет вытеснения нефти из малопроницаемых прослоев.
- степень удержания малопроницаемыми слоями внедрившейся в них воды зависит от продолжительности полуцикла снижения давления нагнетания;
- продолжительность циклов следует увеличивать во времени;
- при циклическом воздействии темп извлечения нефти с увеличением вязкости снижается незначительно;
- метод циклического заводнения может применяться на всех месторождениях, которые могут разрабатываться с заводнением и характеризуются неоднородностью пластов по проницаемости или значительной вязкостью нефти (или тем и другим одновременно).

ОСЛОЖНЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ

- геологические:

- развитая вертикальная и горизонтальная трещиноватость коллектора;
- литолого-фациальная изменчивость продуктивных карбонатов, которая обуславливает значительную неоднородность ФЕС как по разрезу, так и по площади залежей;
- смешанный тип смачиваемости породы-коллектора с преобладанием гидрофобного;
- слабовыраженная капиллярная пропитка ($K_{выт}$ около 5%);
- наличие битуминозного вещества в порах (уменьшение доли подвижных запасов);
- повышенная вязкость пластовой нефти (соотношение вязкости нефти и пластовой воды 10-25 ед.)
- наличие парафинов, низкая газонасыщенность;
- недостаточность пластовой энергии для фильтрации флюида из матрицы

- технологические:

- низкие коэффициенты вытеснения и охвата;
- прогрессирующее обводнение;
- неэффективность вытеснения нефти водой;
- расформированная система ППД

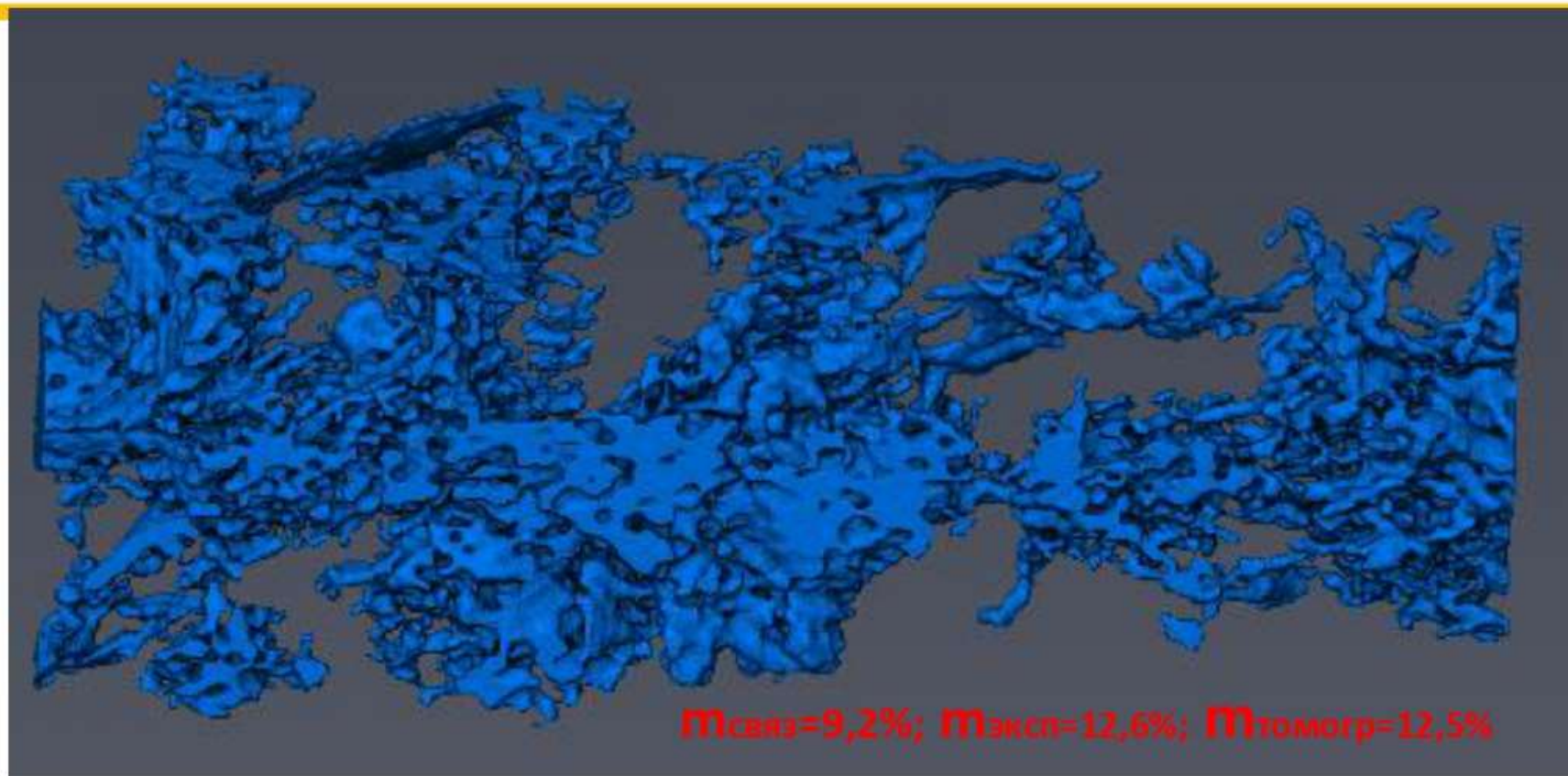
Результат воздействия соляной кислоты на карбонатный керн



Яркий пример изменчивости карбонатов даже для одного керна длиной 5-6 см

ПРИМЕР АНАЛИЗА ТОМОГРАФИИ КЕРНА

3D визуализация фильтрационных каналов в образце



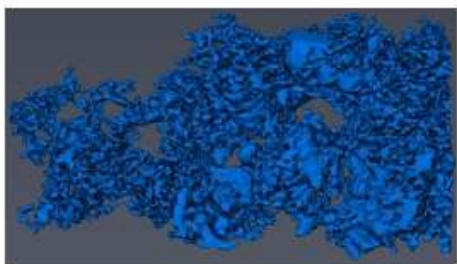
- Разрешение используемой томографии около 100 мкм.
- Близкие значения $m_{\text{связанности}}$ и $m_{\text{томогр}}$ показывают, что при небольшом снижении пористости (когельматация и т.д.) прекращается фильтрация (по тем каналам, что мы можем увидеть по томографии)

$m_{\text{связ}}$ – общая пористость, при которой появляется связь между торцами керна по томографии (может идти фильтрация)

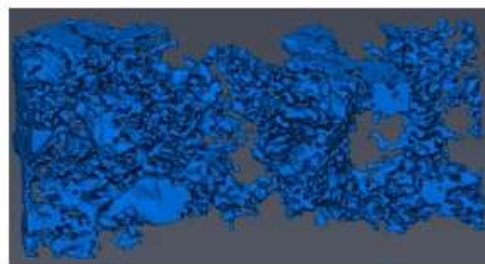
$m_{\text{эксп}}$ – пористость исследуемого образца, определенная в лаборатории

$m_{\text{томогр}}$ - ближайшее значение общей пористости образца по томографии (при вариации градации серого)

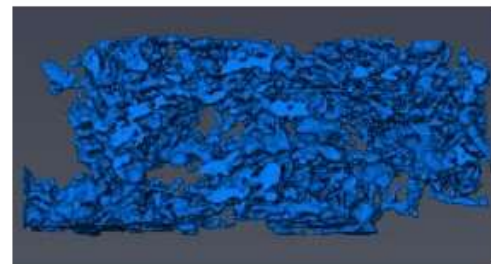
ВНУТРИПОРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО И СВЯЗАННОСТЬ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОБРАЗЦАХ РАЗМЕРОМ 38 ММ



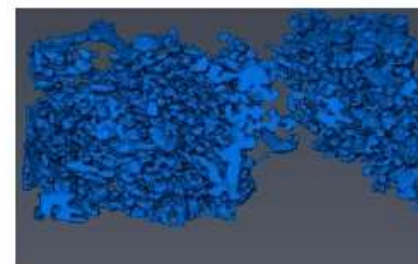
тсвяз=13,1%; тэксп=18,4%; ттомогр=18,6%



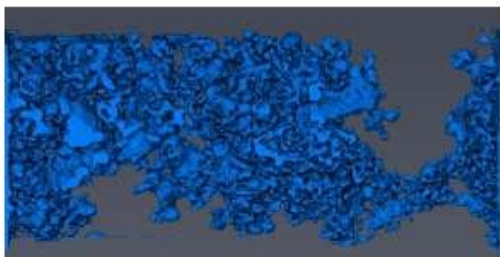
тсвяз=14,5%; тэксп=15,7%; ттомогр=15,8%



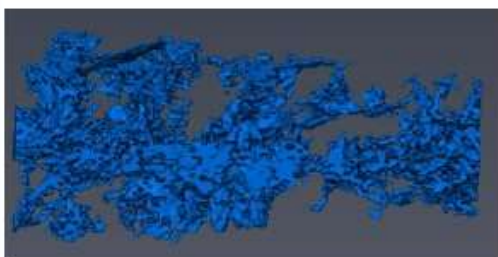
тсвяз=13,5%; тэксп=17,2%; ттомогр=17,0%



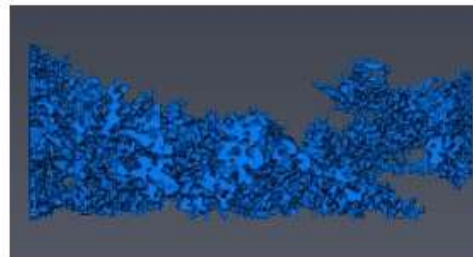
тсвяз=10,7%; тэксп=18,9%; ттомогр=18,8%



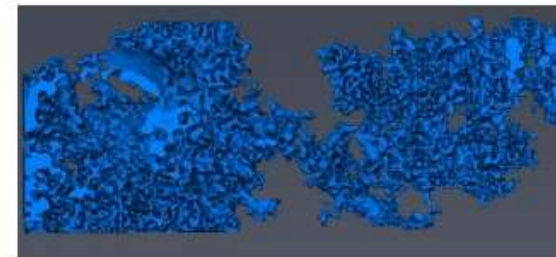
тсвяз=19,4%; тэксп=15,9%; ттомогр=15,8%



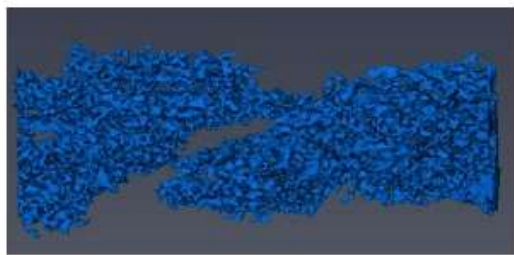
тсвяз=9,2%; тэксп=12,6%; ттомогр=12,5%



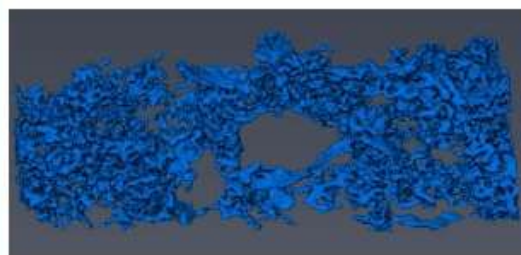
тсвяз=11,6%; тэксп=13,2%; ттомогр=13,1%



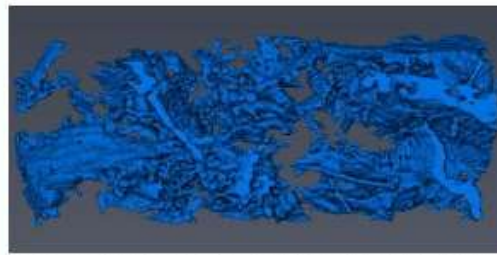
тсвяз=14,7%; тэксп=14,0%; ттомогр=14,7%



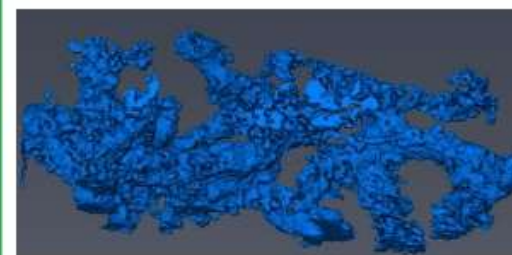
тсвяз=13,3%; тэксп=11,3%; ттомогр=10,2%



тсвяз=8,7%; тэксп=12,0%; ттомогр=12,2%



тсвяз=11,9%; тэксп=11,1%; ттомогр=11,9%



тсвяз=8,1%; тэксп=12,5%; ттомогр=12,6%

В 2005-2006 гг. был выполнен классификационный анализ для выбора участков под нестационарное заводнение:

на 33 месторождениях Западной Сибири - 422 участка 48 объектов разработки

на 81 месторождении Пермской области - 367 участков 59 объектов разработки;

на 34 месторождениях Коми - 12 участков 85 объектов разработки

По итогам работы была разработана методика критериального выбора участков воздействия

МЕТОДИКА КРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА УЧАСТКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ



МЕТОДИКА КРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА УЧАСТКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ (ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ)

1. НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ РАЗРАБОТКИ

Повышение нефтеотдачи в среднем на 6-8%

2. ВТОРАЯ СТАДИЯ РАЗРАБОТКИ

Повышение нефтеотдачи в среднем на 4-5%

3. ПОСЛЕДНИЕ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ

Повышение нефтеотдачи в среднем на 1-3%

Программа работ и обоснование увеличения нефтеотдачи должно проводится для каждого конкретного месторождения (участка) отдельно, с учетом его геологической характеристики, масштаба времени и прогнозной динамики обычного заводнения

Нестационарное заводнение – эффективный инструмент увеличения нефтеотдачи и рентабельности эксплуатации месторождения



- ✓ Снижение энергозатрат на подъём воды
- ✓ Дополнительная добыча нефти
- ✓ Сокращение отборов попутной воды
- ✓ Снижение непроизводительной закачки
- ✓ Увеличение коэф по площади и толщине пласта
- ✓ Снижение темпов обводнения продукции

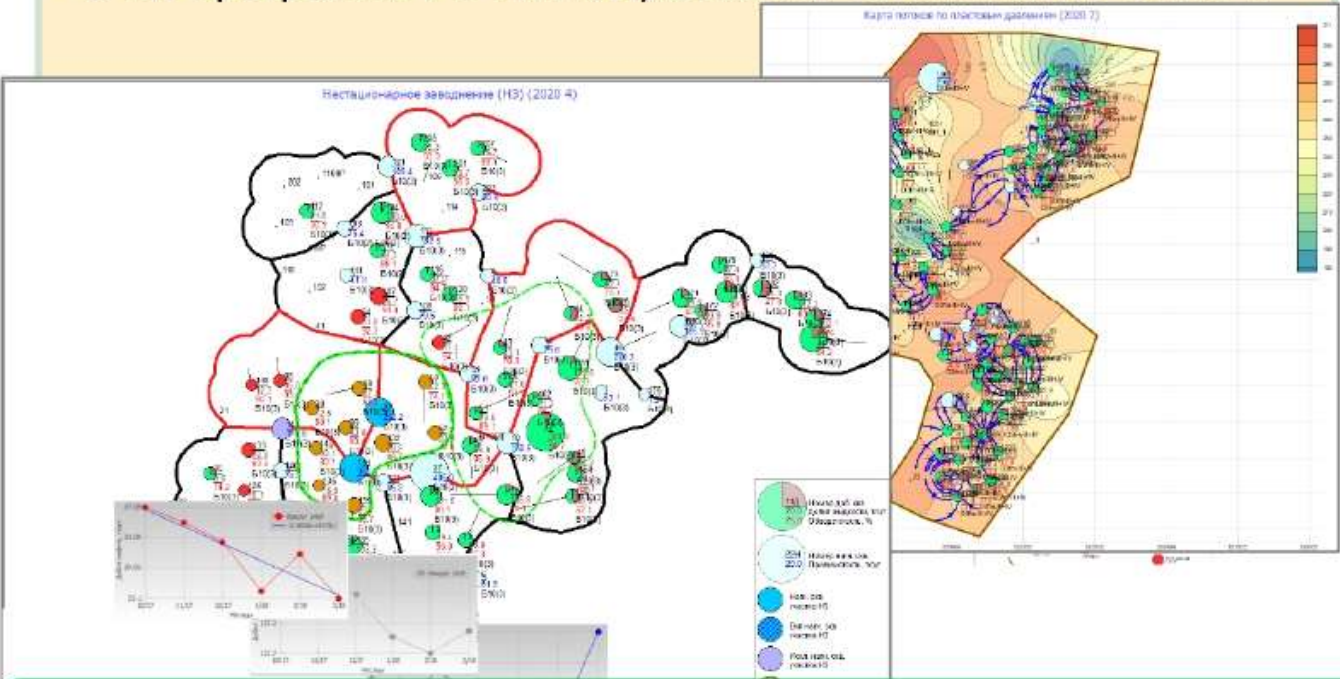
- ✓ Снижение объема реагентов на подготовку и очистку воды
- ✓ Снижение энергозатрат ДНС/УПСВ
- ✓ Снижение затрат на обслуживание оборудования ДНС/УПСВ
- ✓ Снижение технологических ограничений пропускной способности нефтесбора

- ✓ Снижение энергозатрат на закачку воды
- ✓ Снижение затрат на обслуживание оборудования БКНС
- ✓ Снижение износа водоводов высокого давл.

Методика формирования и сопровождения программ нестационарного заводнения

Формирование участков

- Оценка сформированности ППД и инфраструктуры
- Анализ взаимовлияния скважин
- Анализ состояния разработки разработки
- Анализ и сопоставление геолого-физических и технологических параметров участка
- Учёт программы ГТМ и МУН, а так же остановки по ОПЕК +



* Параметры программы остановок

- Расчет длительности циклов воздействия
- Расчёт этапов остановок по участкам
- Расчёт показателей закачки и добычи жидкости по участку
- Учёт технических ограничений по месторождению (снижение уровней закачки или перераспределение)

Гидропроводность

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n K_i \times H_{эф.вн}$$

Длительность полуцикла

$$T = \frac{L^2}{2 \times \chi}$$

Компенсация

$$f = \frac{\sum Q_{ин}}{\sum (Q_s + \frac{Q_s}{\rho})}$$

Пьезопроводность

$$\chi = \frac{K \times 10^6}{\mu \times C \times m}$$

Суммарная закачка

$$\sum Q_{зак} = q \times T$$

№ п/п	№ скв	Закачка при стационарном режиме за Тцикла на дд.мм.гггг г	Приемистость скважины на дд.мм.гггг г, м³/сут	Закачка в период нестационарного заводнения, м³		Длительность, сут	
				Закачка в 1-й этап цикла, м³	Закачка в 2-й этап цикла, м³	цикла	этапа
1	233	18090	603	0	9045	30	15
2	362	29340	978	14670	0	30	15
Всего		47430	1581	14670	9045	30	15

***ВАЖНО:** необходима адаптация расчета параметров

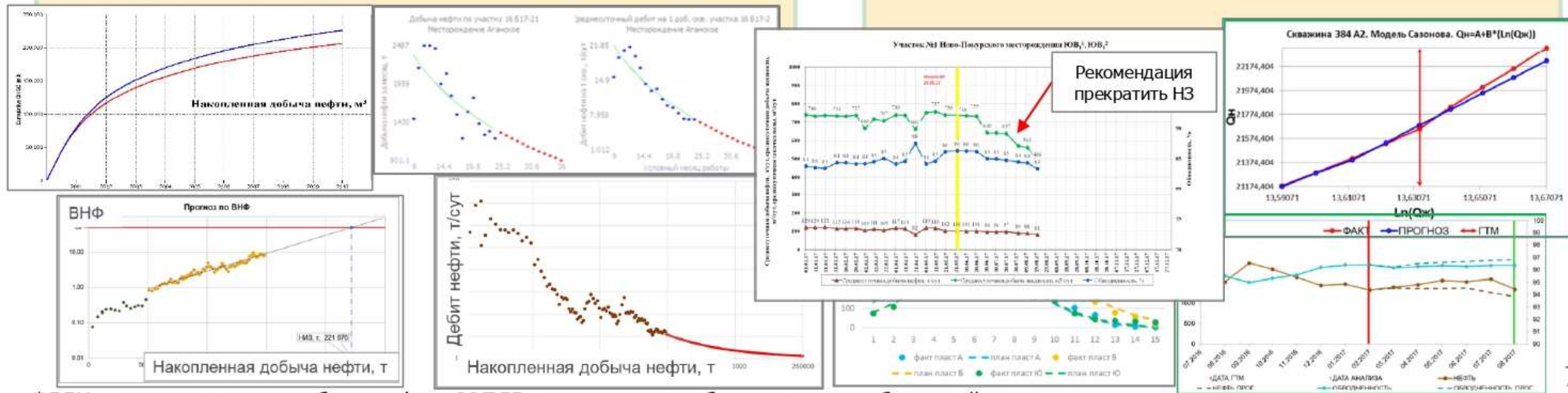
Методика формирования и сопровождения программ нестационарного заводнения

Расчет прогнозной эффективности

- Использование ГГДМ (TNavigator) (выбор оптимального варианта программы ЦЗ)
- Прогноз базовой добычи нефти (тренд добычи нефти и тренд ВНФ)
- Расчет потенциальных запасов участка (НИЗ, ТИЗ) (по тренду ВНФ)
- Результаты анализа или имеющаяся статистика позволяет прогнозировать: ДДН*, СОПДВ*
- Расчёт экономических показателей (OPEX, Net profit, PI) (выбор максимально рентабельной программы ЦЗ)

Расчет фактической эффективности

- На основе ВНД недропользователя
- ПО «EOR Effect+» - расчёт проводится по характеристикам вытеснения (56 шт.) по каждой добывающей скважине отдельно, с последующим суммированием эффекта
- Мониторинг работы участка НЗ по замерным показателям (ежедекадно)
- Оценка эффективности: ДДН*, СОПДВ*, Непроизводительная закачка и прирост НИЗ



* ДДН – дополнительная добыча нефти; СОПДВ – сокращение отборов попутнодобываемой воды

ПО «Системное воздействие на пласт» (ПО «СВП»)

ПО «СВП» — прикладная комплекс-программа оптимизации процессов формирования программ ГТМ и МУН

Уникальность

- реализован алгоритм выбора МУН и ГТМ на основе многолетнего опыта работ (патент)
- программа включена реестр отечественного ПО Минкомсвязи (импортозамещение)
- установка ПО Заказчику и контроль процесса создания программ ГТМ и МУН
- загрузка данных из NGT-Smart; БАСПРО и т.д.
- работа без привязки к геолого-гидродинамической модели.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019660578

Программное обеспечение технологии системного воздействия на пласт (ПО «СВП»)

Разработчик: Акционерное общество "Всероссийский нефтяной научно-исследовательский институт имени академика А.П. Крылова" (АО "ВНИИНефть") (RU)

Авторы: Фоткин Артём Вячеслав (RU), Петров Андрей Михайлович (RU), Рязанов Роберт Ровинович (RU), Байкова Елена Назимовна (RU), Подольский Артём Константинович (RU), Галушко Владимир Владимирович (RU)

Заявка № 2019619545

Дата поступления: 31 июля 2019 г.

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 08 августа 2019 г.

Руководитель филиала/отдела/структурного подразделения (подпись)

С.С. Смирнов



МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРИКАЗ

28.01.2021

№ 42

О формировании и ведении единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных и единого реестра программ для электронных вычислительных машин и баз данных из государств – членов Евразийского экономического союза, за исключением Российской Федерации

В соответствии с пунктами 25, 42 Правил формирования и ведения единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных и единого реестра программ для электронных вычислительных машин и баз данных из государств членов Евразийского экономического союза, за исключением Российской Федерации, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2015 г. № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд» (далее – Правила), и на основании решения Экспертного совета по программному обеспечению при Министерстве цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (далее – Экспертный совет) от 22 января 2021 г.

ПРИКАЗЫВАЮ:

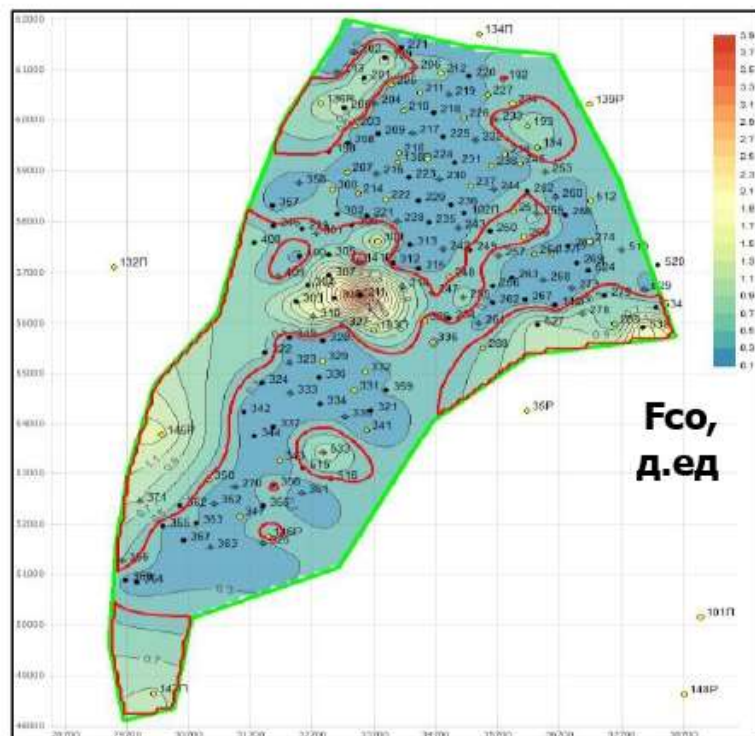
1. Включить сведения о программном обеспечении в единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных с присвоением класса (классов) в соответствии с документами заявителя согласно приложению № 1 к настоящему приказу.
2. Включить сведения о программном обеспечении в единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных с присвоением класса (классов) в соответствии с решением Экспертного совета от 22 января 2021 г. согласно приложению № 2 к настоящему приказу.

Публикации:

1. Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660578. ПО «СВП»
2. Программное обеспечение технологии системного воздействия на пласт // Нефтяное хозяйство, 03.2019, с. 102-106

ДИАГНОСТИКА состояния разработки

Верификация
базы данных → Локализация
невыработанных
зон и участков → Причины
снижения
эффективности



**РОСТ
ОБВОДНЕННО
СТИ**

НИЗКИЙ Кохв.

**НЕ
ДОСТИЖЕНИЕ
Рзаб.целевое**

**НЕ
ДОСТИЖЕНИЕ
Рзакачки**

НИЗКИЙ Квыт.

АДРЕСНЫЙ ПОДБОР ГТМ И МУН по критериям выбора и ранжирования

Выбор
адресных
технологий → Прогноз
рентабельност
и → Системно-адресная
программа работ по
всему месторождению

ВПП/ОПЗ

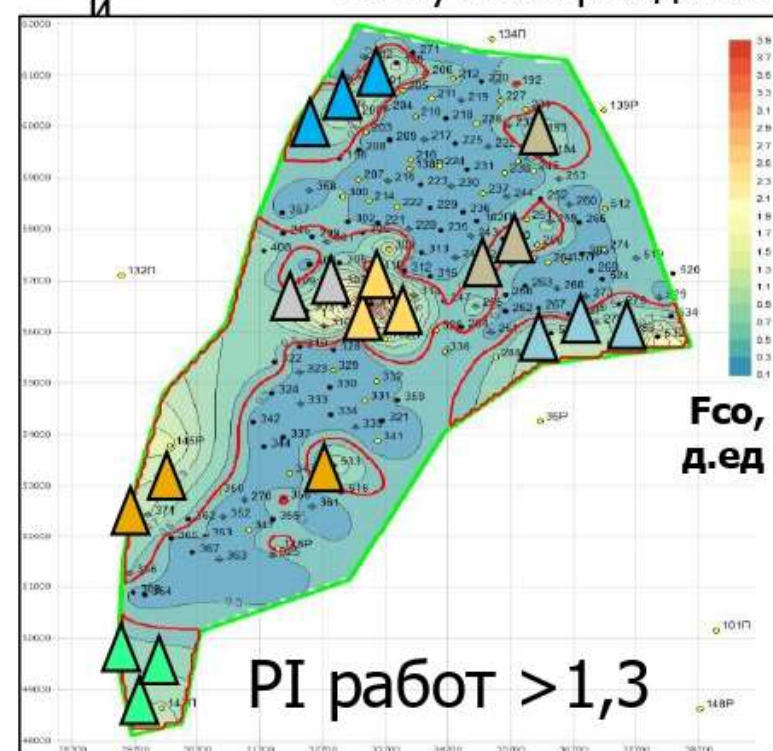
ОВП/РИР

**Нестационарное
заводнение**

**Оптимизация
ППД**

**Оптимизация
насосного
оборудования**

**Технологии
повышения
Квыт.**



Программное обеспечение АО «ВНИИнефть» в области нестационарного заводнения карбонатных коллекторов

ПО «СВП»

- Расчет и визуализация взаимовлияния скважин
- Картирования фильтрации в карбонатных коллекторах на базе метода линий тока (SL-метод)
- Алгоритм выделения участков через анализ блоков разработки
- Построение диагностических графиков

ПО «tNavigator»

- Численные исследования процессов разработки с циклическим заводнением
- Модель двойной пористости и двойной проницаемости (перетоки между матрицей и трещиной)
- Учёт полной геолого-физической информации

ПО «EOR Effect+»

- Расчёт эффективности от проведенных гидродинамических МУН, как на добывающем фонде, так и на нагнетательном по характеристикам вытеснения

ПО «ИС МГД», «NGT Smart», БАСПРО и т.д.

- Использование данных для анализа, формирования и мониторинга программ гидродинамических МУН

Проект нестационарного заводнения ООО «СК «Русвьетпетро»



Дополнительная
добыча нефти
38 тыс.т

Сокращение отборов
воды
- 89 тыс.т

PI
2,1

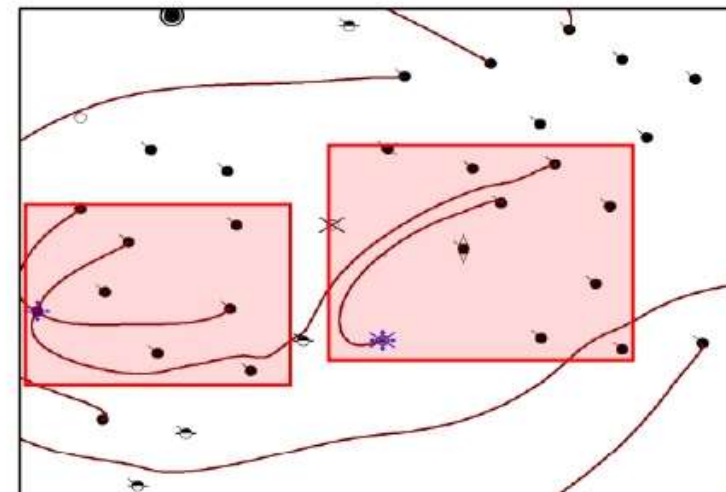
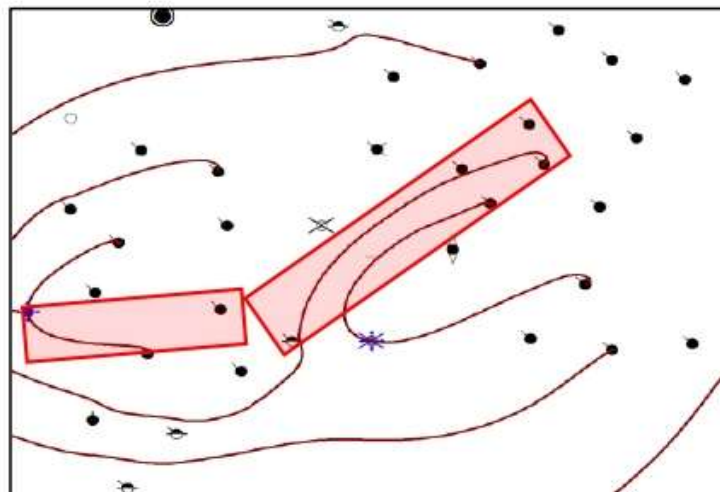
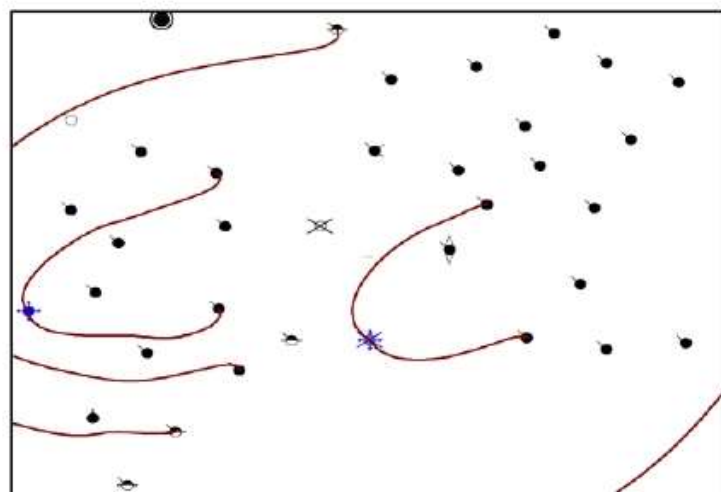
Проект нестационарного заводнения ООО «СК «Русъветпетро»

Изменение фильтрационных потоков

Январь 2019 г.

Январь 2020 г

Январь 2021 г

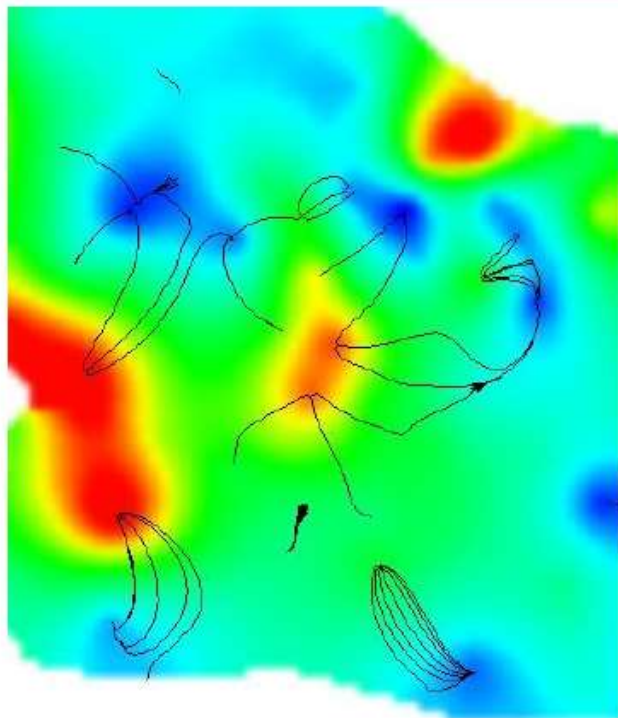


- Зоны изменения фильтрационных потоков

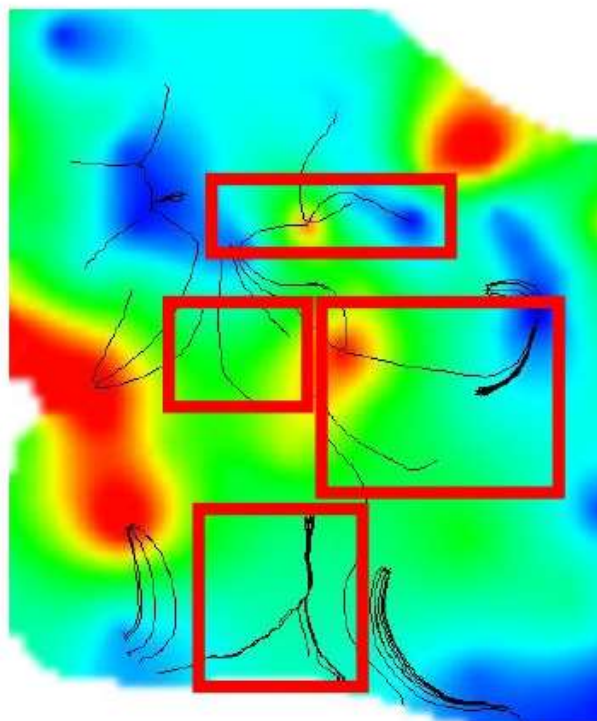
Проект нестационарного заводнения ООО «ЗАРУБЕЖНЕФТЬ-добыча Харьяга»

Изменение фильтрационных потоков

Январь 2022. До начала НЗ



Октябрь 2022



Дополнительная
добыча нефти
1,5- 6,25 тыс.т

Сокращение отборов
воды
- 6,079 тыс.т



- Зоны изменения фильтрационных потоков

Результаты и выводы

Накопленная дополнительная добыча нефти от реализации системно-ориентированного нестационарного заводнения в карбонатных коллекторах на 01.11.2022 г. составляет более 40 тыс. т, сокращение отборов попутно добываемой воды и непроизводительной закачки - 42 тыс. т.

Прирост НИЗ на 1 доб. скв. в среднем составил 24 тыс. т/скв. ДДН составляет около 6 % от добычи в целом по участкам воздействия.

Высокий показатель рентабельности работ ($PI > 2$ ед.) достигается благодаря ключевым преимуществам технологий НЗ и ИНФП — минимальными операционными расходами (ОРЕХ) и реализацией в условиях промысла без привлечения дополнительного оборудования; низким удельным рискам за счет большого охвата действующего базового фонда скважин мероприятиями; возможности оперативной замены и перестроивания программ.

Полученные результаты являются веским основанием для дальнейшего тиражирования и широкомасштабного применения нестационарного заводнения.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

ПЕТРАКОВ АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ,
д.т.н., проф., действ. член РАЕН
Директор Центра ФХ и Г МУН АО "ВНИИНефть",
127422, г. Москва, Дмитровский проезд д. 10
тел. (495) 748-39-66 моб. 8-916-857-57-84
<mailto:ampetrakov@vniineft.ru>