



Primary funding is provided by

**The SPE Foundation through member donations
and a contribution from Offshore Europe**

The Society is grateful to those companies that allow their
professionals to serve as lecturers

Additional support provided by AIME



Society of Petroleum Engineers
Distinguished Lecturer Program
www.spe.org/dl

Моделирование процессов заводнения скважин: лучшие примеры

Scot Buell, SPEС



human energy®



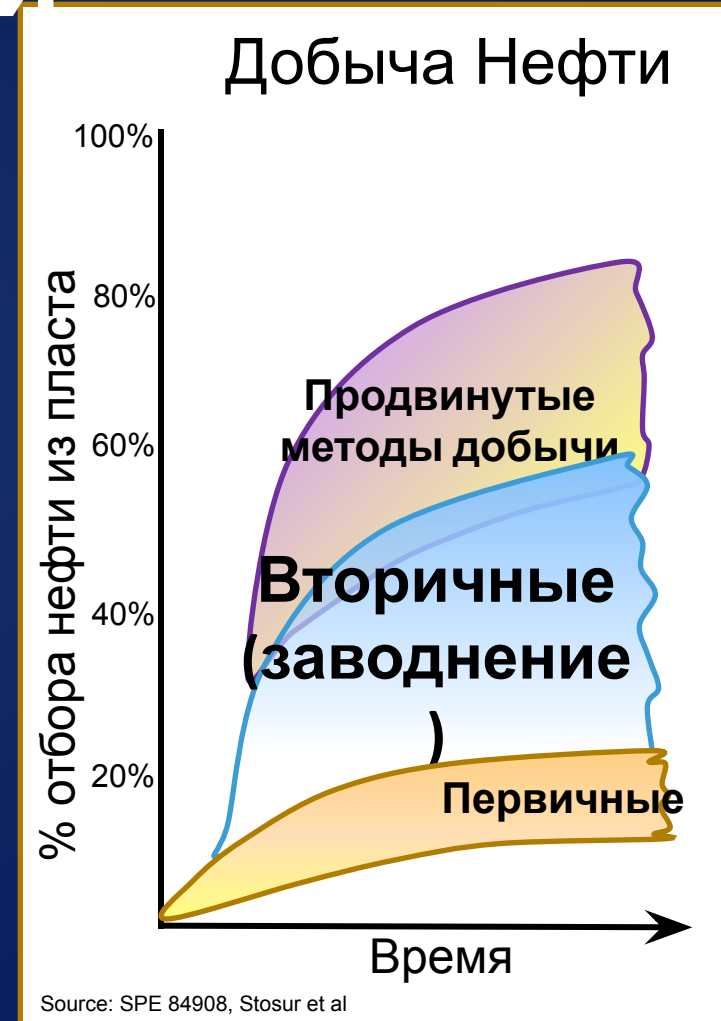
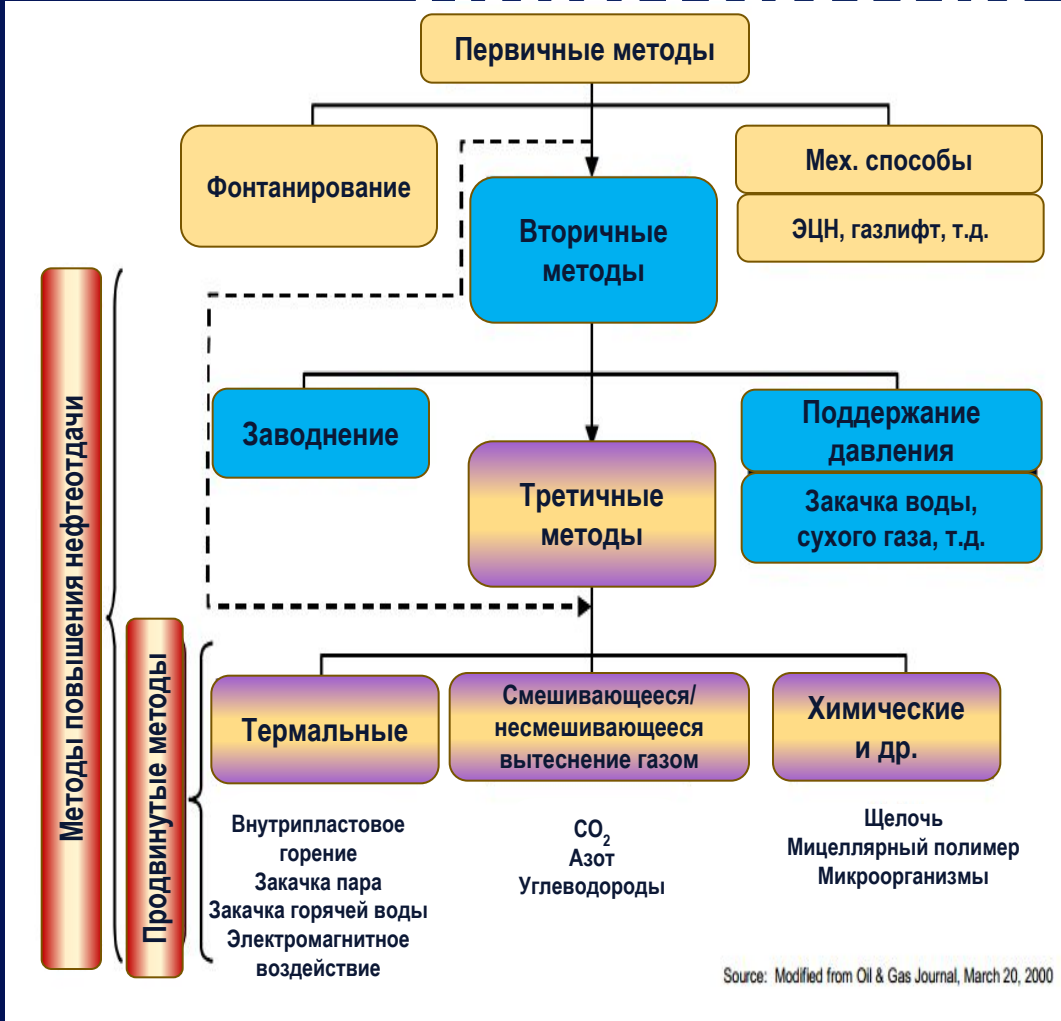
Society of Petroleum Engineers
Distinguished Lecturer Program
www.spe.org/dl

Содержание



- Проектирование заводнения и эффективность закачки
- Оценка подтверждаемости
- Дизайн нагнетательных скважин
- Наблюдение за процессом заводнения
- Качество воды
- Трещинообразование
- Междисциплинарные аспекты заводнения

заводнение: ключ к повышению нефтеотдачи



Коэффициент ПОДВИЖНОСТИ



$$M_{wf} = \mu_o k_{rw} / \mu_w k_{ro}$$

$M_{wf} > 1$ неблагоприятно – вода
более подвижная, чем нефть

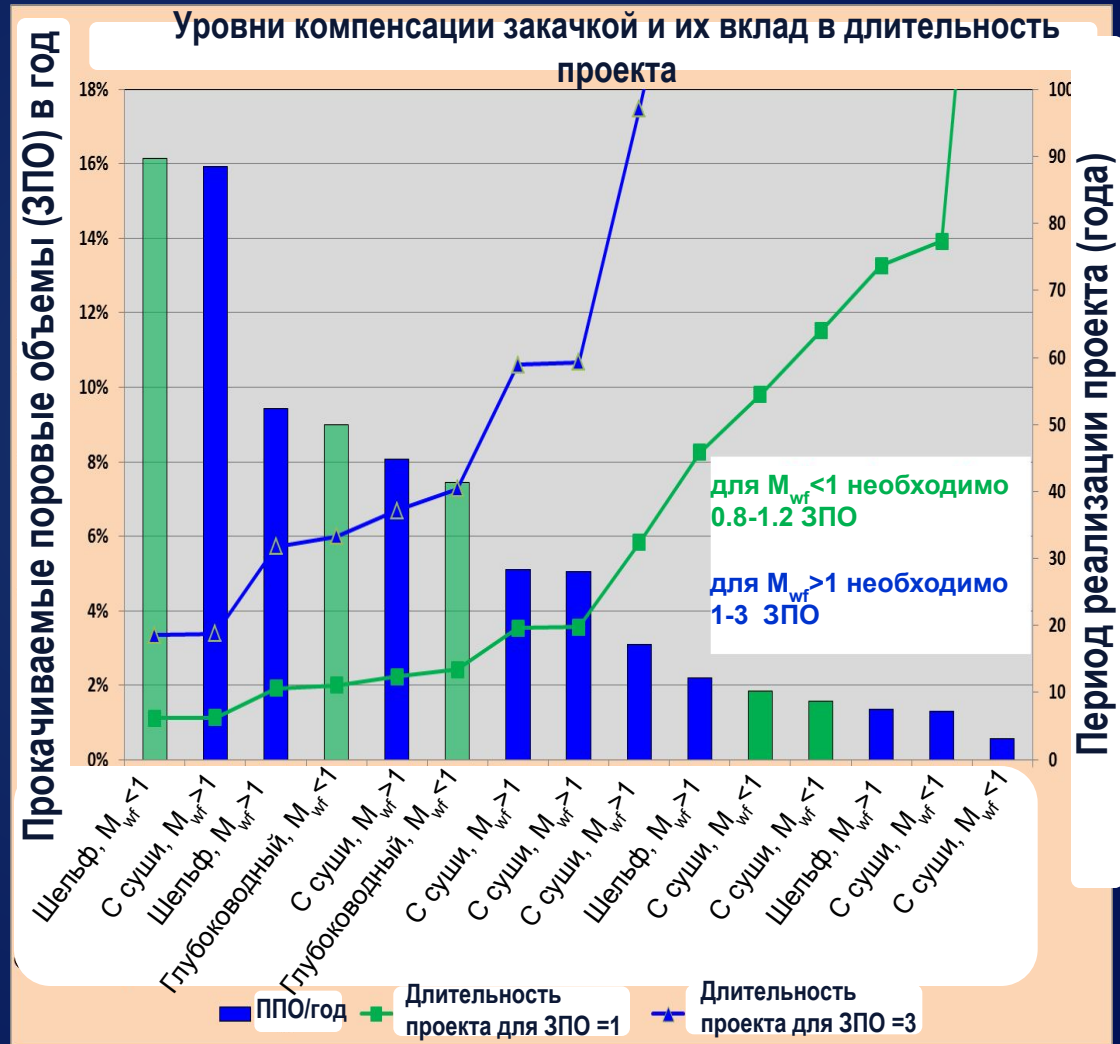
$M_{wf} < 1$ предпочтительно – нефть
более подвижная, чем вода

μ_o = вязкость нефти
 μ_w = вязкость воды
 k_{ro} = относительная фазовая проницаемость нефти
 k_{rw} = относительная фазовая проницаемость воды

Какой период реализации вашего проекта заводнения?

Проектирование зависит от:

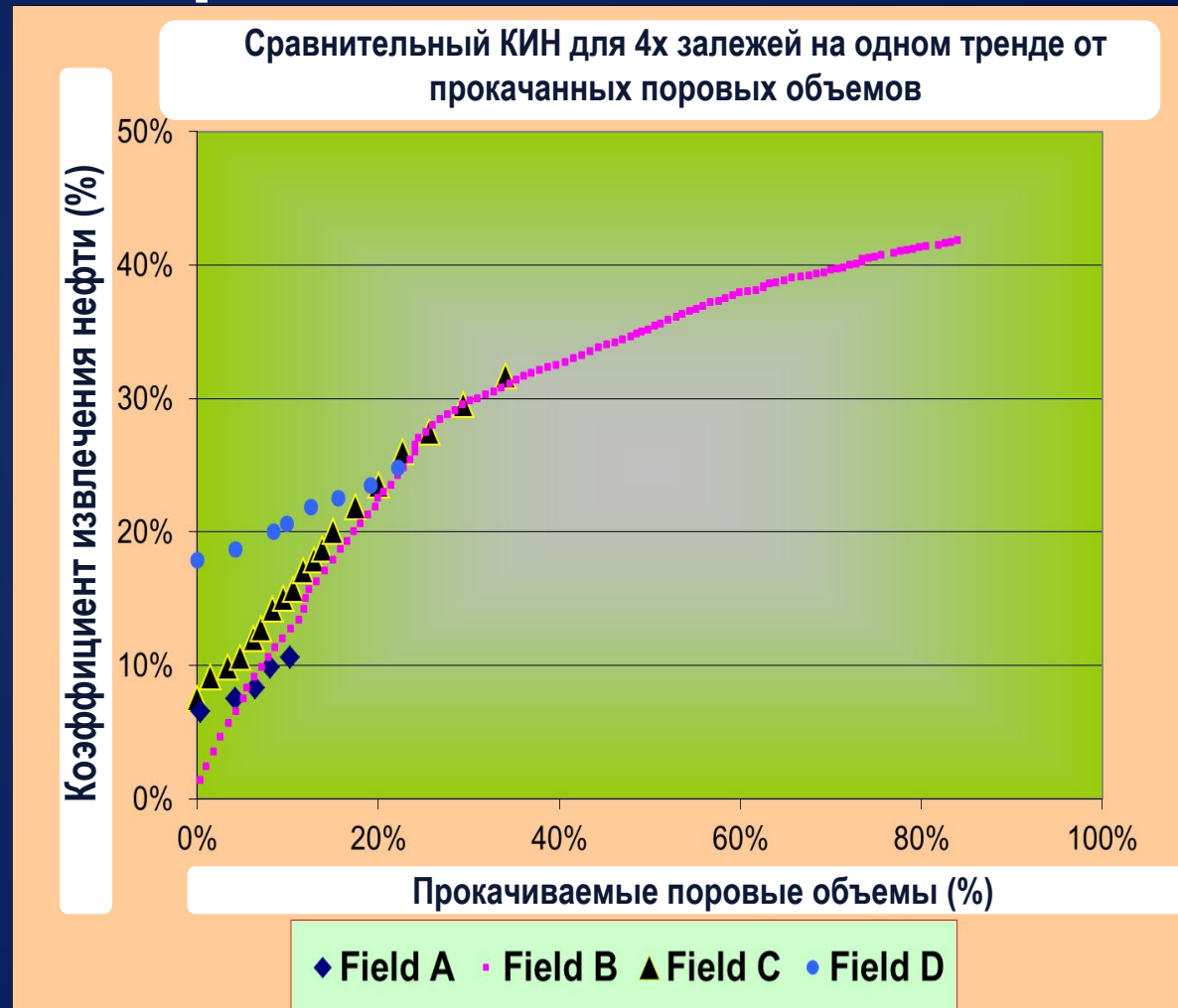
- Коэффициент подвижности
- Годовые объемы закачки, измеряемые в Прокачиваемых Поровых Объемах (ППО)
- Эффективность закачки
- Качество воды
- Проницаемость
- Расстояние между скважинами
- Разработка на суше / шельфе



Фактический пример: Закачанные поровые объемы для четырех шельфовых месторождений



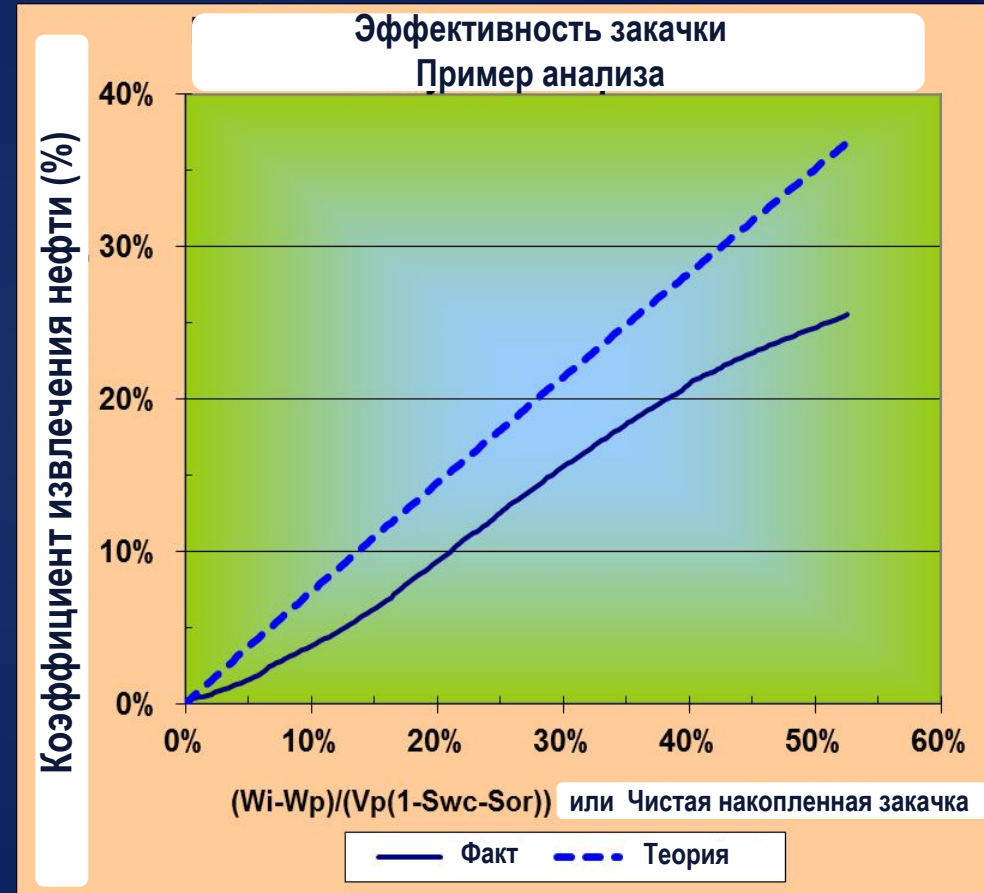
- Уровни закачки (ЗПО/год) значительно различаются среди залежей
- Одинаковые стратиграфические единицы, свойства флюидов, структуры и ловушки для всех залежей
- Неблагоприятный коэффициент подвижности
- Между залежами есть связь через общий водоносный горизонт
- Начало периодов первичной добычи и закачки воды отличаются для каждого пласта



На сколько эффективна закачиваемая вода с точки зрения вытеснения нефти?



- Техника основана на чистом объеме накопленной воды в пласте
- Проекты с хорошим удержанием воды будут близки к 100% эффективности (фактический=теоретически)
- Эффективность закачки накладывает влияние на потребности в объемах воды и период проекта
- Промысловый пример на графике характеризуется эффективностью ~75%

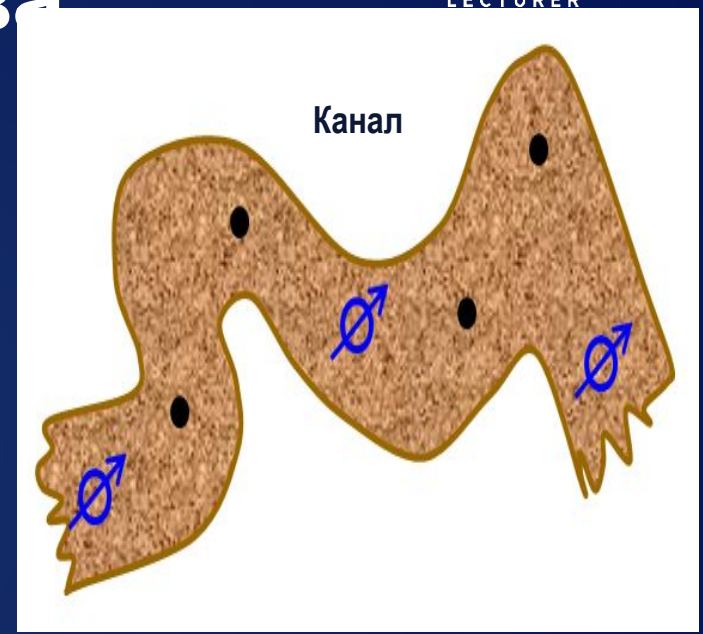
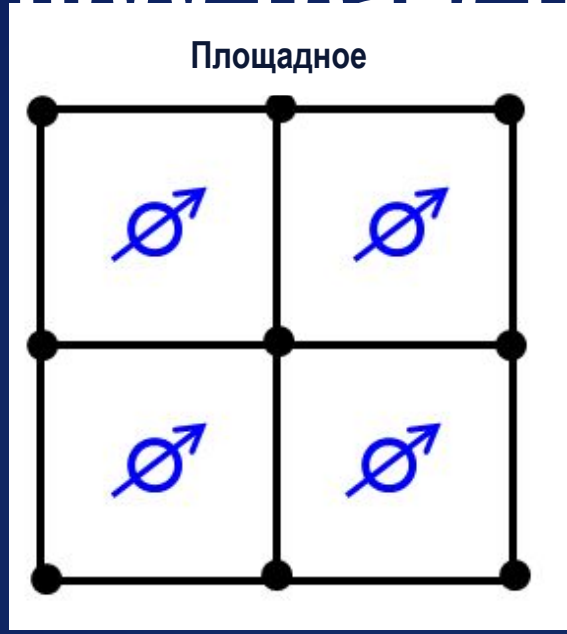


Коэффициент замещения пустотного пространства (VRR)



- Коэффициент используется в качестве основного индикатора для достижения целевого значения пластового давления (особенно в случае отсутствия данных по забойному давлению)
- Также известен как FIFO (fluid-in fluid-out) или IWR (injection-withdrawal ratio)
- Осуществляется учет в пластовых условиях закачиваемых и добываемых объемов
- При заводнении требуется определить целевое, минимальное и максимальное пластовые давления

Типичные значения коэффициента замещения пустотного пространства



от 1.1 до 1.4

от 1.0 до 1.1

от 1.0 до 1.2

Оцениваете ли вы коэффициенты для целевых пластов ?

Важность управления коэффициентом замещения пустотного пространства



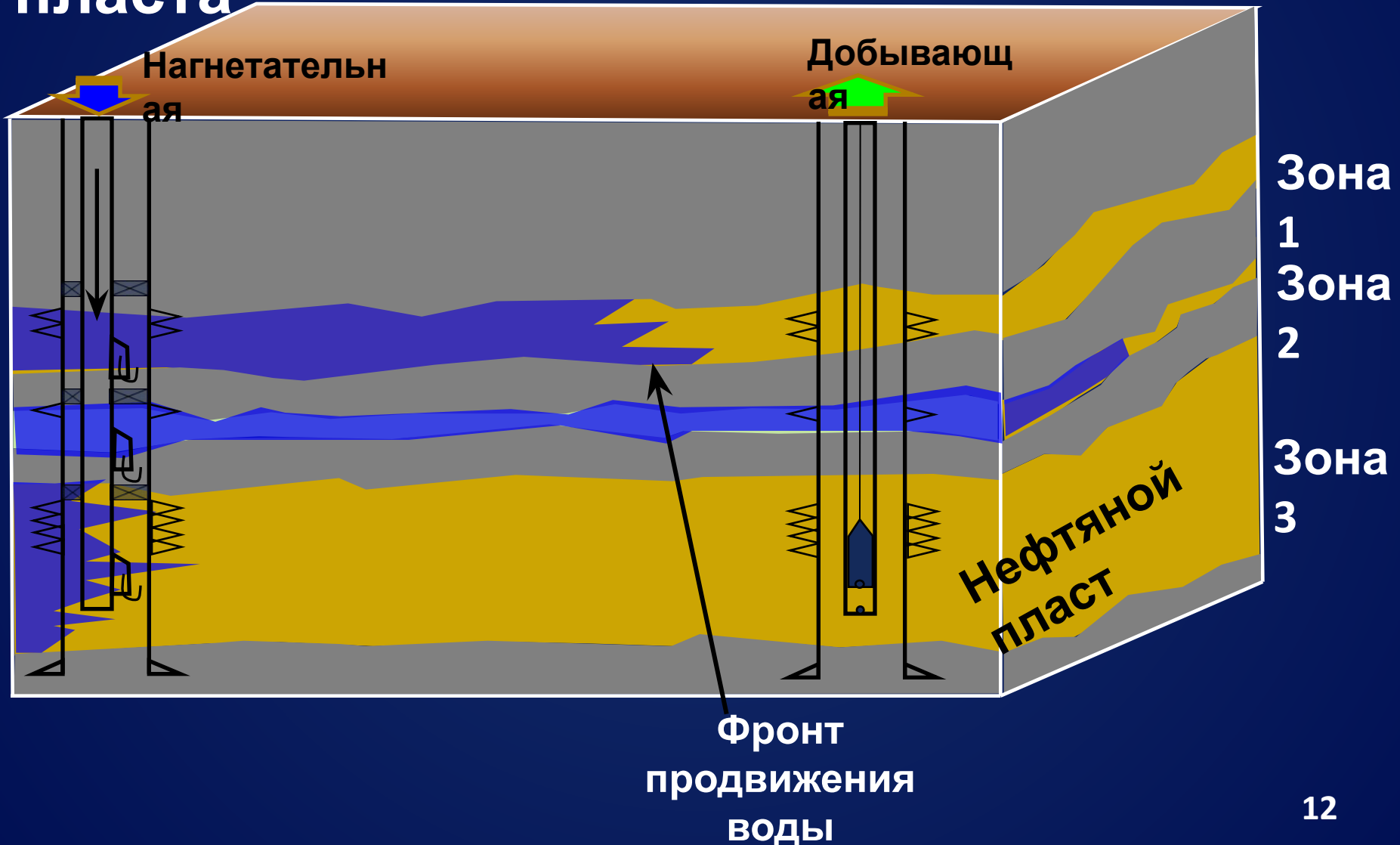
SPE DISTINGUISHED LECTURER



Water Injection (BWPD)

Накопленный коэффициент замещения

Классическая проблема заводнения в условиях слоистого пласта



Управление откликом заводнения в условиях слоистого пласта



Слой	Запасы нефти (%)	% Kh (md-ft)	Текущий прокачанный поровый объем (%)	Текущий ВНФ
Зона 1	25%	30%	36%	2
Зона 2	15%	50%	100%	20
Зона 3	60%	20%	10%	-
Всего	100%	100%	30%	2.1

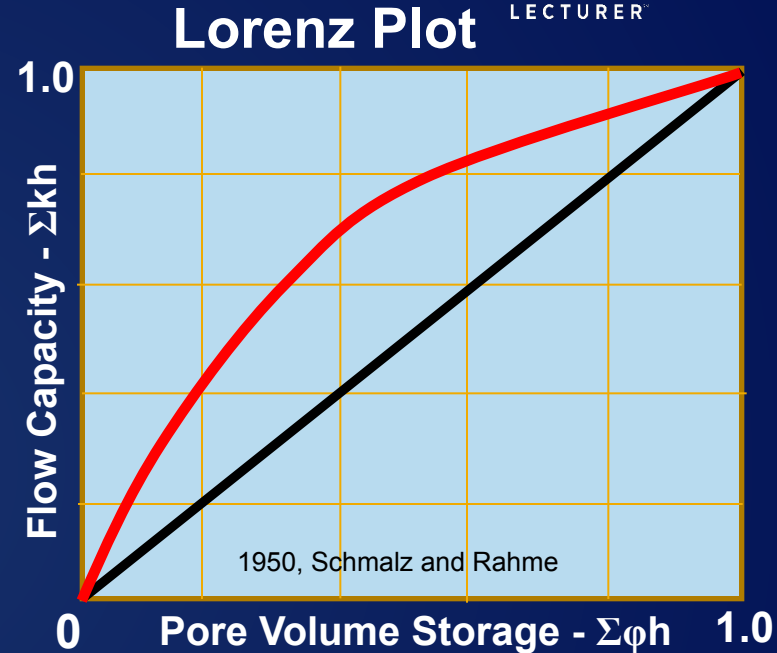
Всегда начинайте с нагнетательной скважины. Необходимы наблюдение и специальное заканчивание скважины, которое позволяет следить за профилем закачки и управлять им.

Методы анализа по заводнению



Определение взаимосвязи между нагнетательными и добывающими скважинами

- Коэффициент Лоренца–Дикстра-Парсонса
- Модели емкостного сопротивления (CRM или ЯМК)
- Линии тока
- Электромагнитные исследования
- Гравиметрические исследования



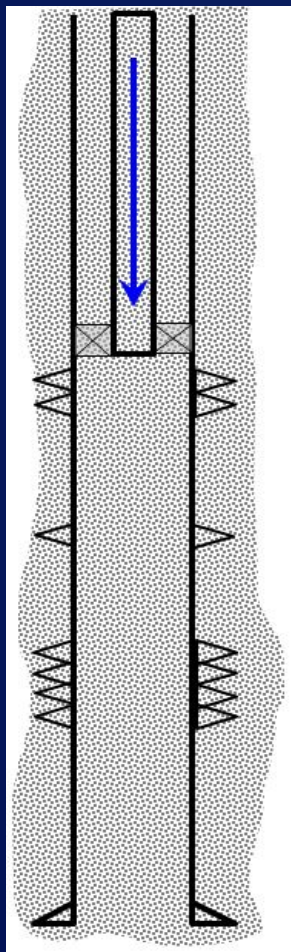
Caution

Необходимо понимать допущения каждого анализа:

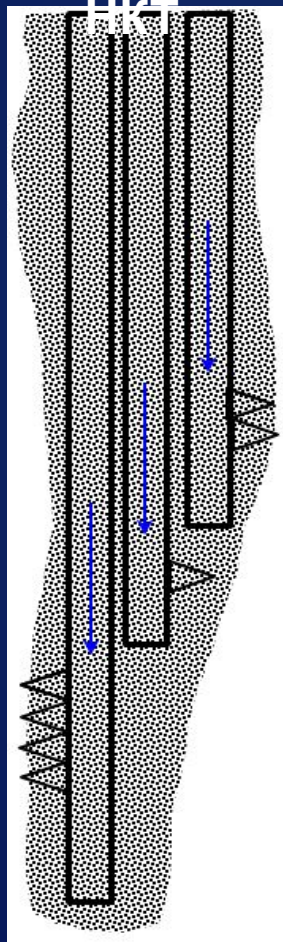
- Единый гидравлический поток или усреднение нескольких потоковых единиц – 2-мерные
- Материальный баланс – соблюдение закачки и добычи
- В большинстве случаев при заводнении эти допущения не соблюдаются.

Заканчивание нагнетательных скважин для осуществления контроля

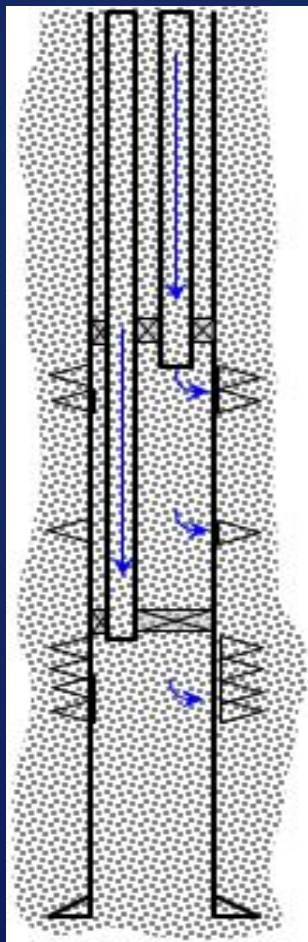
Селективная перфорация



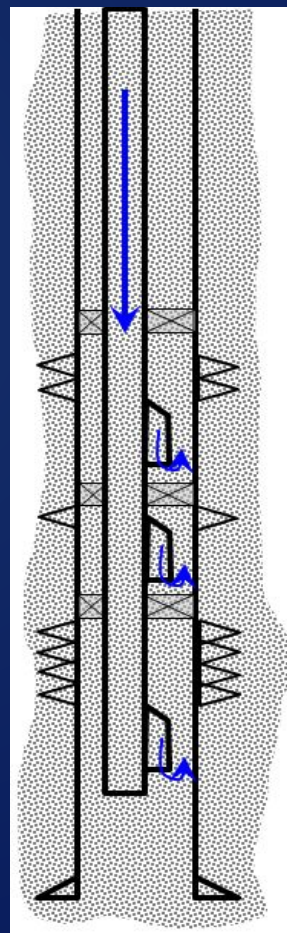
Скважины малого диаметра без НКТ



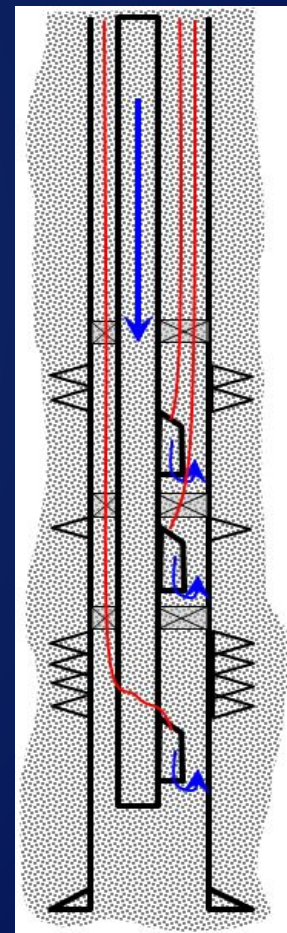
Внедрение 2х НКТ



Пакеры и клапаны с регулируемым и штуцерами



«Умное» заканчивание с пакером и клапанами ICV



SPE DISTINGUISHED LECTURER

Элементы плана по

контролю за процессом

заводнения

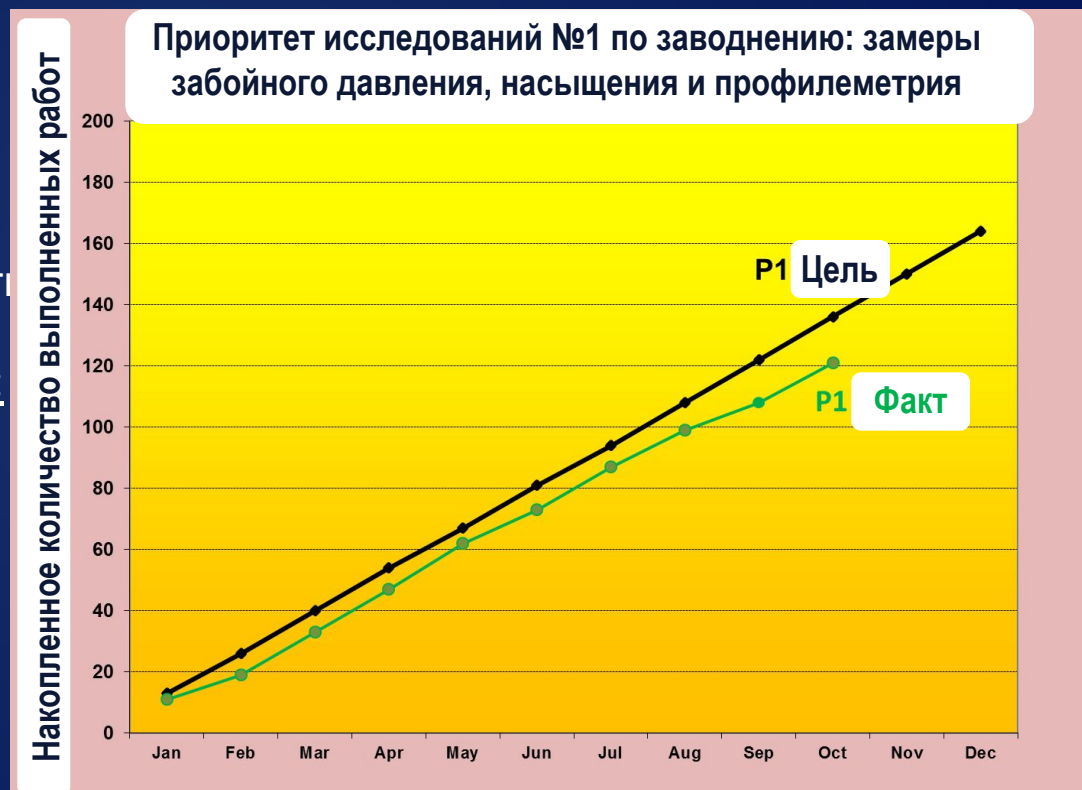
Необходимые рутинные

исследования:

- Замеры добычи
- Замеры приемистости
- Качество воды
- Устьевые и забойные давления
- Профилеметрия (притока/приемистости)
- Механическая целостность скважины

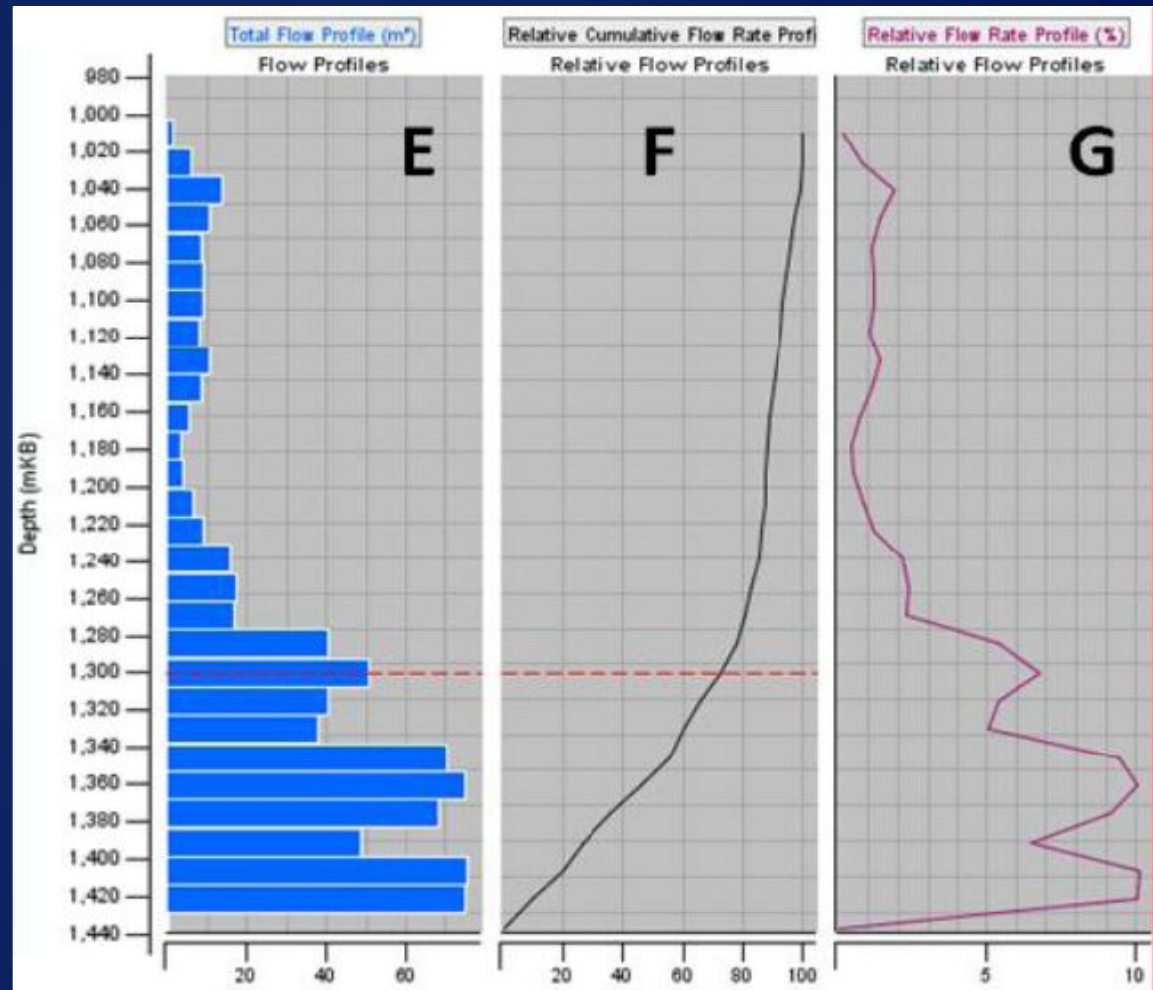
Специальные исследования:

- Исследования на неустановившихся режимах
- Сейсмика
- Профили насыщенности
- ГИС в открытом стволе
- Закачка трассеров
- Отборы проб для PVT тестов
- Испытания пласта в новых скважинах
- Рутинные и спец. исследования керна
- Extended leakoff test (XLOT)



Новая технология: Опто-волоконное Распределенное Акустического зондирования (DAS) для оценки профиля закачки

- Опто-волоконное Распределенное Температурное зондирование (DTS) - это созданная технология для профилирования потока.
- DTS имеет ограничения – когда разница температур в горизонтальных скважинах мала.
- DAS алгоритмы профилирования потока быстро улучшаются.
- Оснащение добывающих и нагнетательных скважин капиллярными



Междисциплинарный контроль за заводнением



Аспекты для контроля и

Скважина

Приемистость
% от целевых
объемов
закачки

Обустройство

Качество воды и
мощности для
системы ППД

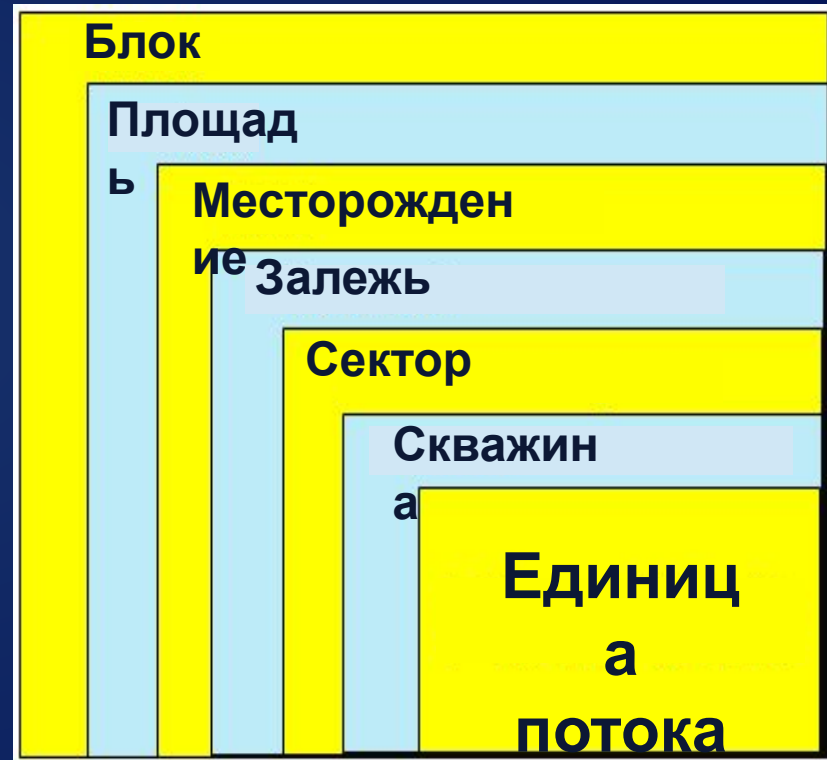
Пласт

Коэффициент
замещения
пустотного
пространства и
Пластовое

Данные о пласте

Наблюдение за
разработкой
залежи и
накопление
информации

Иерархия анализа

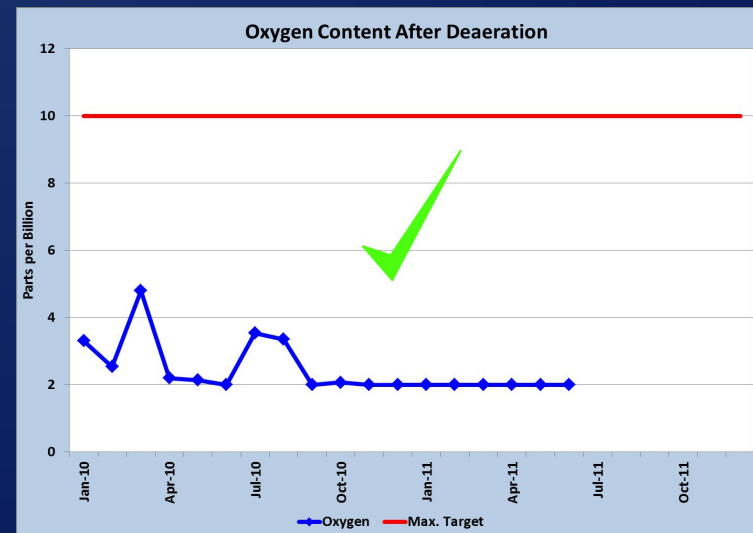
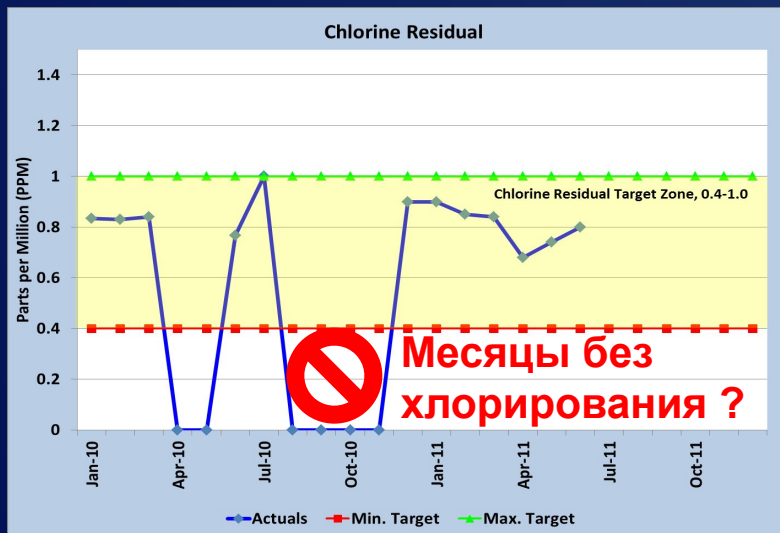
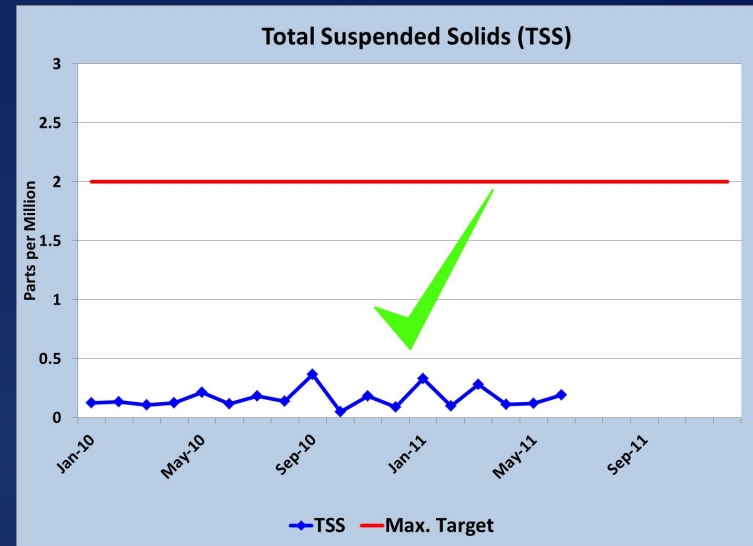
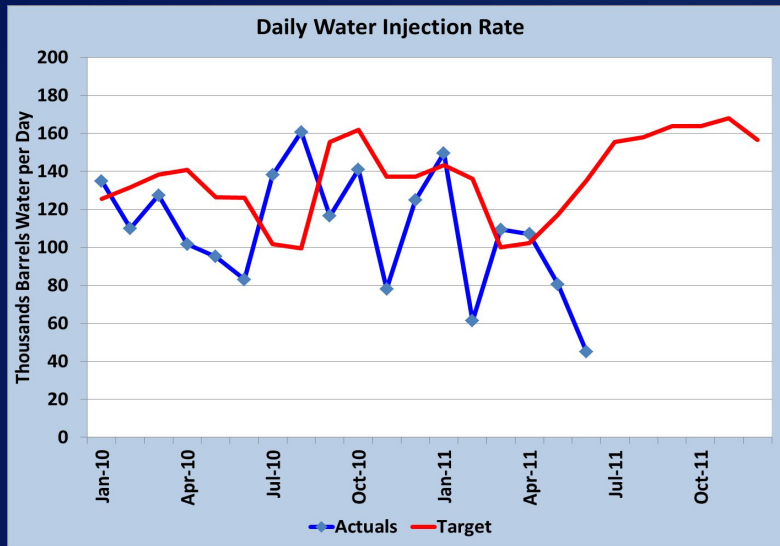


Необходимо больше, чем просто наличие пласта и инженеров, чтобы достичь эффективного заводнения

Типовые характеристики качества воды

Параметр	Типовые значения
Количество взвешенных частиц	< 2 ppm
Растворенный кислород	< 10 ppb
Содержание сульфатов	< 2 to 40 ppm
Остаток хлора	0.3 – 1.0 ppm
Sessile Sulfate Reducing Bacteria	< 100/cm ²
Planktonic sulfate	<100/mL

Аспекты для планирования заводнения на Шельфе



Биозагрязнение: какие последствия от несоответствия качества воды?



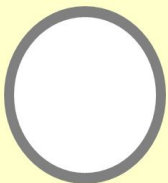
What are Biofilms?

Это колония микроорганизмов и внеклеточных полимеров, которые они выделяют. Они прикрепляются к инертным или живым субстанциям. Эти бактерии классифицируются как планктонные (свободно плавающие) или сидячие (закрепленные).

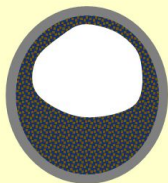
Пример Микробиологической коррозии (MIC)



Clean Pipe



Bio-fouled Pipe



Микробиологическая коррозия

(MIC): Бактерии производят отходы, такие как CO_2 , H_2S и органические кислоты, которые вызывают коррозию труб за счет повышения токсичности текучей среды в трубопроводе. Микробы, как правило, образуют колонии в гостеприимной среде и ускоряют

коррозию под колонией.

Отложения и коррозия: какие последствия от несоответствия качества воды?

- Часто встречающийся механизм образования коррозии – отложения биоматериала либо твердых частиц.
- Отложения образуют “ячейки коррозии,” которые как правило имеют очень агрессивную среду и локализованы.
- Могут глубоко проникнуть в сталь за короткое время

Reference: NACE 11266, 2011

Коррозия трубы в результате отложений на стенках биоматериала



Кислород: какие последствия от несоответствия качества воды?

- Неизолированная углеродистая сталь может долгое время использоваться для закачки в отсутствие кислорода
- Кислород является сильным окислителем и очень быстро реагирует с металлом.
- Кислород увеличивает коррозионное действие кислотных газов H_2S и CO_2

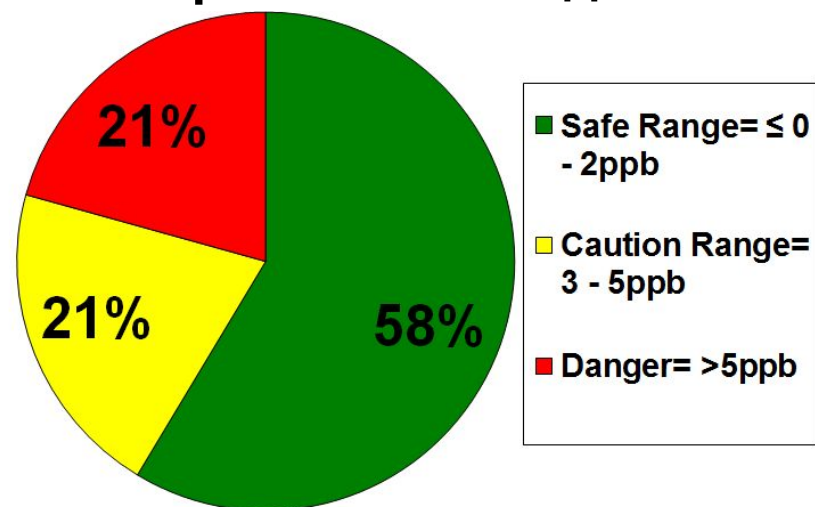
Пример коррозии в результате окисления



Операции по вводу в эксплуатацию нагнетательной воды (WIP)

- Операции по вводу воды в эксплуатацию имеют ли более низкую приоритетность по сравнению с нефтью или газом?
- Обслуживающий персонал в сложной ситуации: соблюдать требования по объему или по качеству нагнетаемой воды?
- Междисциплинарное взаимодействие необходимо для принятия

Установка для удаления примесей из воды



Операционные дисциплины, связанные с качеством воды



- Есть ли у вас технические условия по качеству воды или рекомендации по ней?
- Есть ли критерии качества для остановки нагнетания воды?
- Негативные воздействия «неправильной» воды не исправляются очисткой полости, СКО, химической ударной обработкой, заменой поверхностного оборудования и т.д.

**Коррозионные побочные продукты:
сульфид железа и оксид железа в**

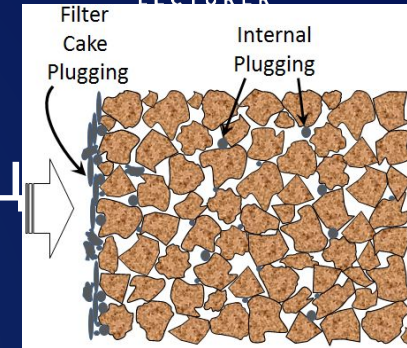
нагн.скв.



**«Неправильная» вода сегодня
не корректируется
«правильной» водой завтра.**

Мифы при заводнении матрицы породы

- Длительное заводнение матрицы не может быть выполнено с существующим качеством воды в терригенных пластах.
- В большинстве нагнетательных скважин будут возникать трещины вблизи ствола из-за эффектов термического напряжения и эффекта закупоривания.
- Давление нагнетания, дебит и качество воды могут быть использованы при моделировании геометрии трещин.
- Каверны, трещиноватые карбонаты могут быть исключениями.



Управление поверхностным оборудованием при заводнении



- Управление целостностью поверхностного оборудования предполагает, что нагнетаемая жидкость ограничена целевыми и лицензионными резервуарами.
- Промышленные события, связанные с нагнетанием воды, могут внести изменения в морское дно или в поверхность земли.
- Возрастание общественных и государственных проблем
- Исторически внимание было сосредоточено на понимании распространении трещин, а не на понимании породы и покрышках.
- Держать давление нагнетания ниже давления разрыва не гарантирует отсутствие появления трещин - может потребоваться геомеханическое моделирование.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ



- Понимать проектный срок и скорость работы резервуара (прокачиваемые поровые объемы (ЗПО) в год)
- Понимать, какой объем нагнетаемой воды эффективен
- Иметь план на случай раннего прорыва воды и на случай многослойного резервуара
- Понимать, что необходим минимальный контроль и новые оптоволоконные технологии
- Использовать оперативные дисциплины для определения качества воды, иметь критерии для стоп-нагнетания, знать химический состав воды
- Предполагать процессы авто-грп и контроль за поверхностным оборудованием
- Использовать междисциплинарное взаимодействие для лучшего командного решения

Your Feedback is Important

**Enter your section in the DL Evaluation
Contest by completing the evaluation
form for this presentation
Visit SPE.org/dl**



Society of Petroleum
Engineers Distinguished
Lecturer Program
www.spe.org/dl

