SPE DISTINGUISHED LECTURER

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

SPE International

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

SPE DISTINGUISHED LECTURER

Проектирование заводнения и лучшие примеры практической реализации

Scot Buell, SPEC

Chevron

human energy

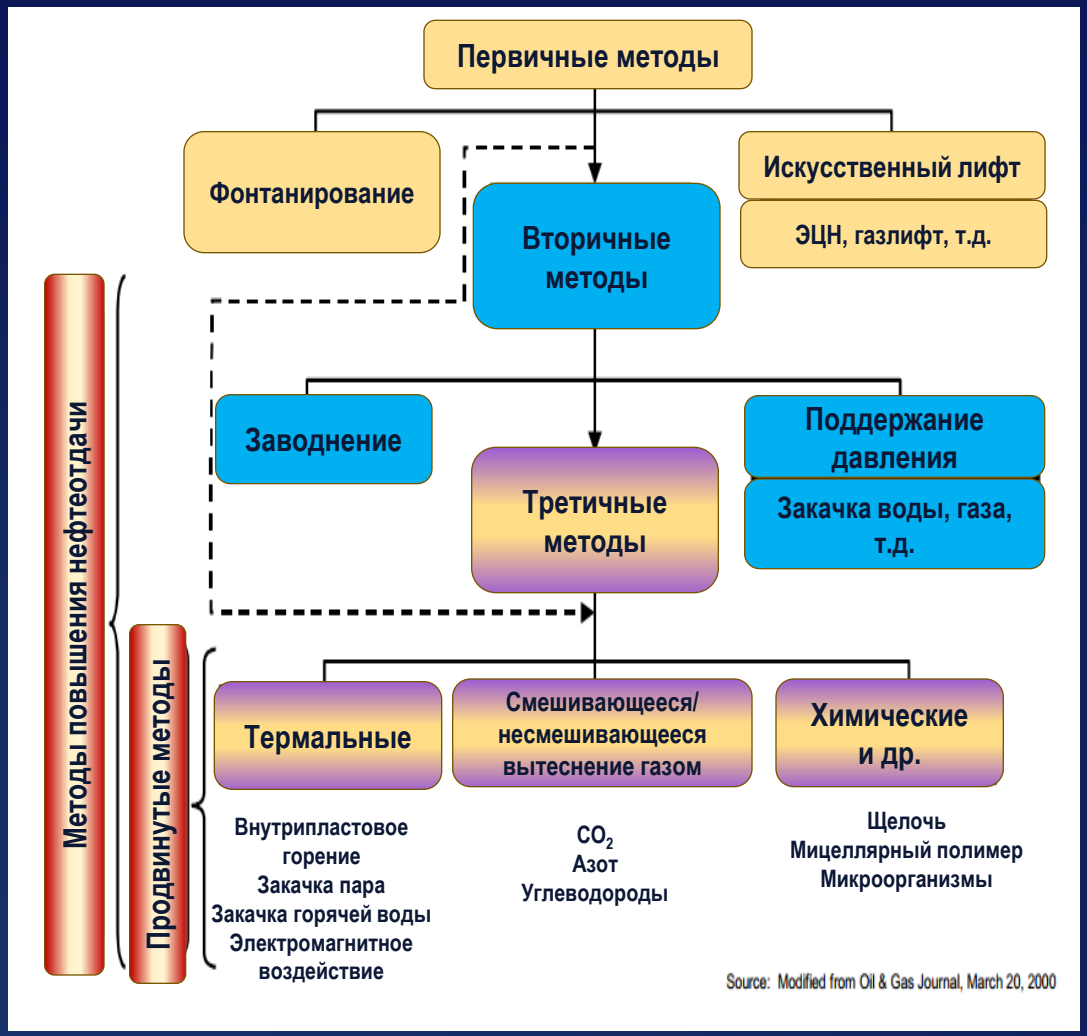
Society of Petroleum Engineers
Distinguished Lecturer Program
www.spe.org/dl

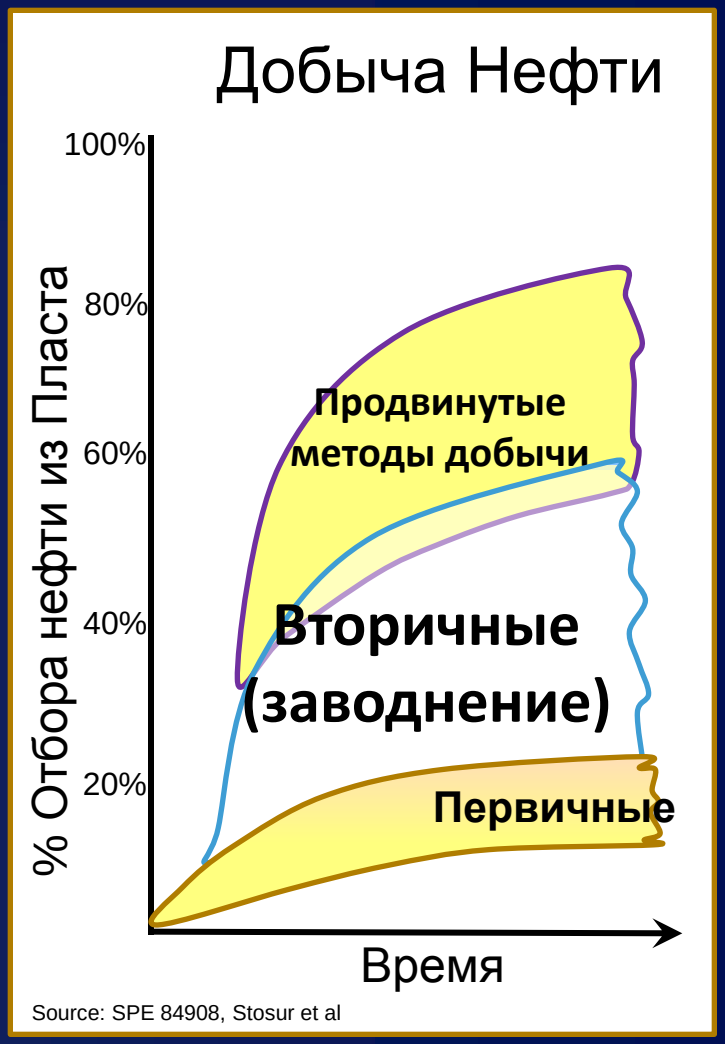
Содержание

SPE DISTINGUISHED LECTURER

- 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

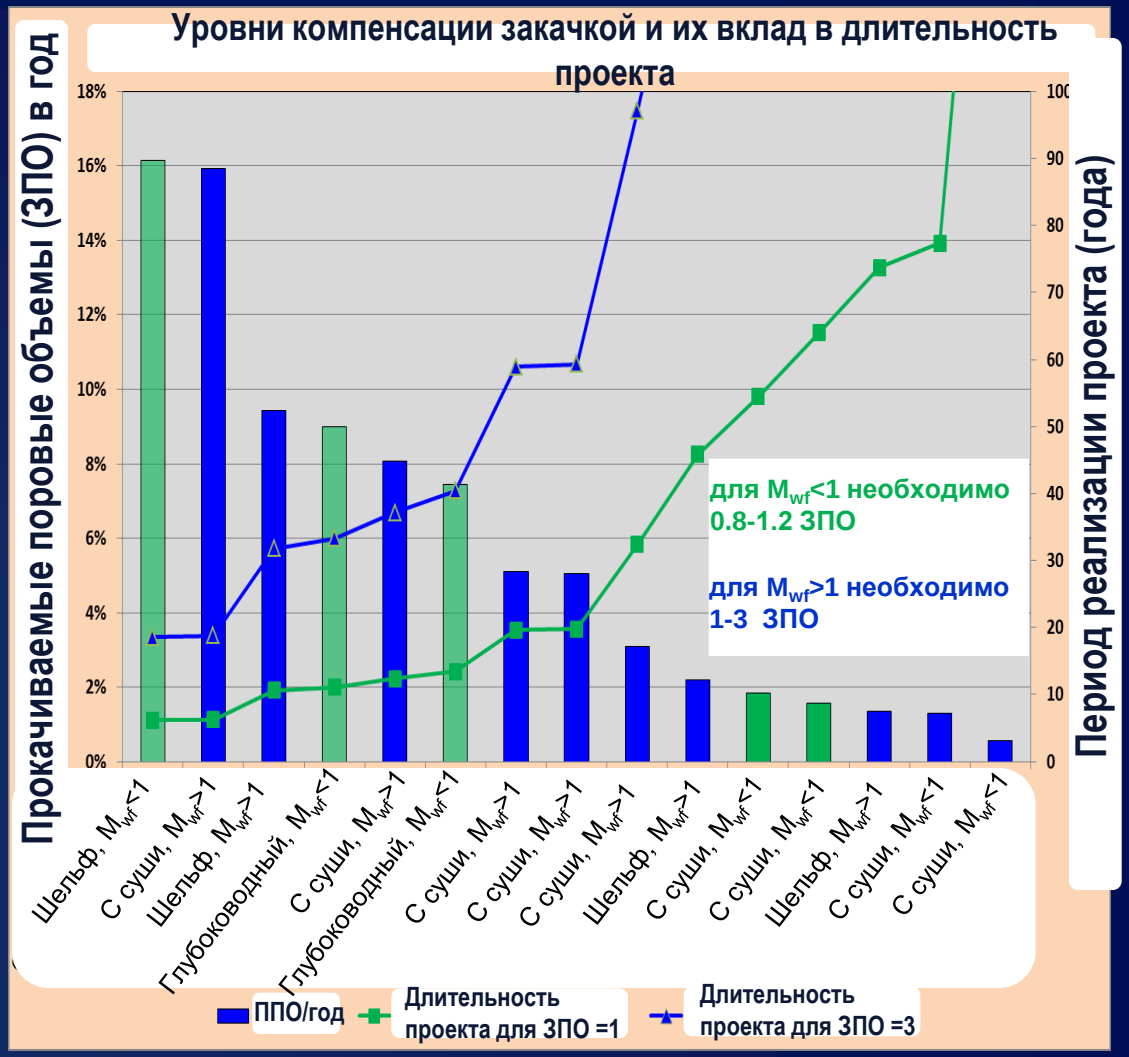
μ_o = вязкость нефти
μ_w = вязкость воды
k_{ro} = относительная фазовая проницаемость нефти
k_{rw} = относительная фазовая проницаемость воды

Какой период реализации вашего проекта заводнения?

SPE DISTINGUISHED LECTURER

Проектирование зависит от:

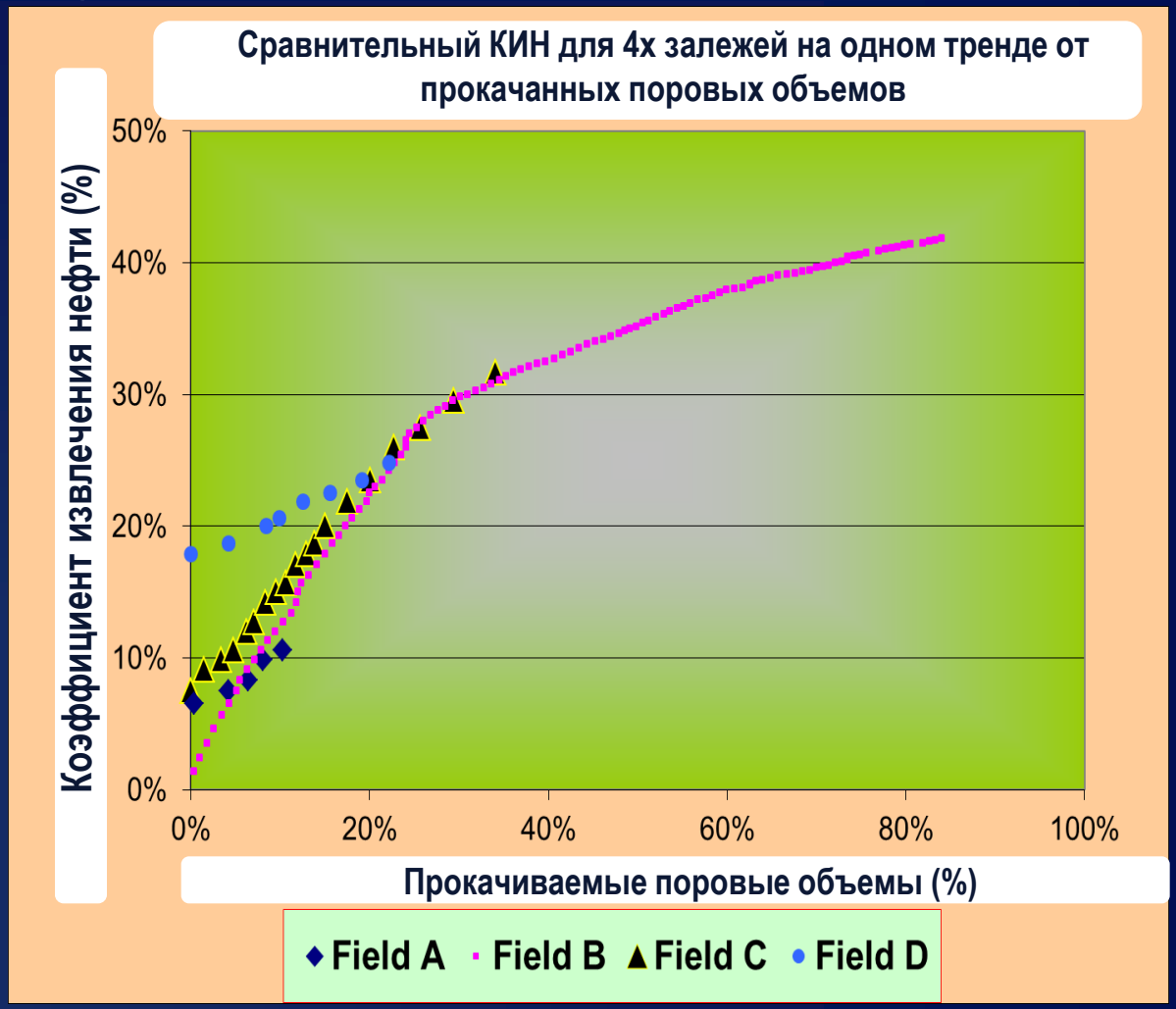
- Коэффициент подвижности
- Годовые объемы закачки, измеряемые в Прокачиваемых Поровых Объемах (ППО)
- Эффективность закачки
- Качество воды
- Проницаемость
- Расстояние между скважинами
- Разработка с суши / шельф



Фактический пример: Прокачиваемые поровые объемы для четырех шельфовых месторождений

SPE DISTINGUISHED LECTURER

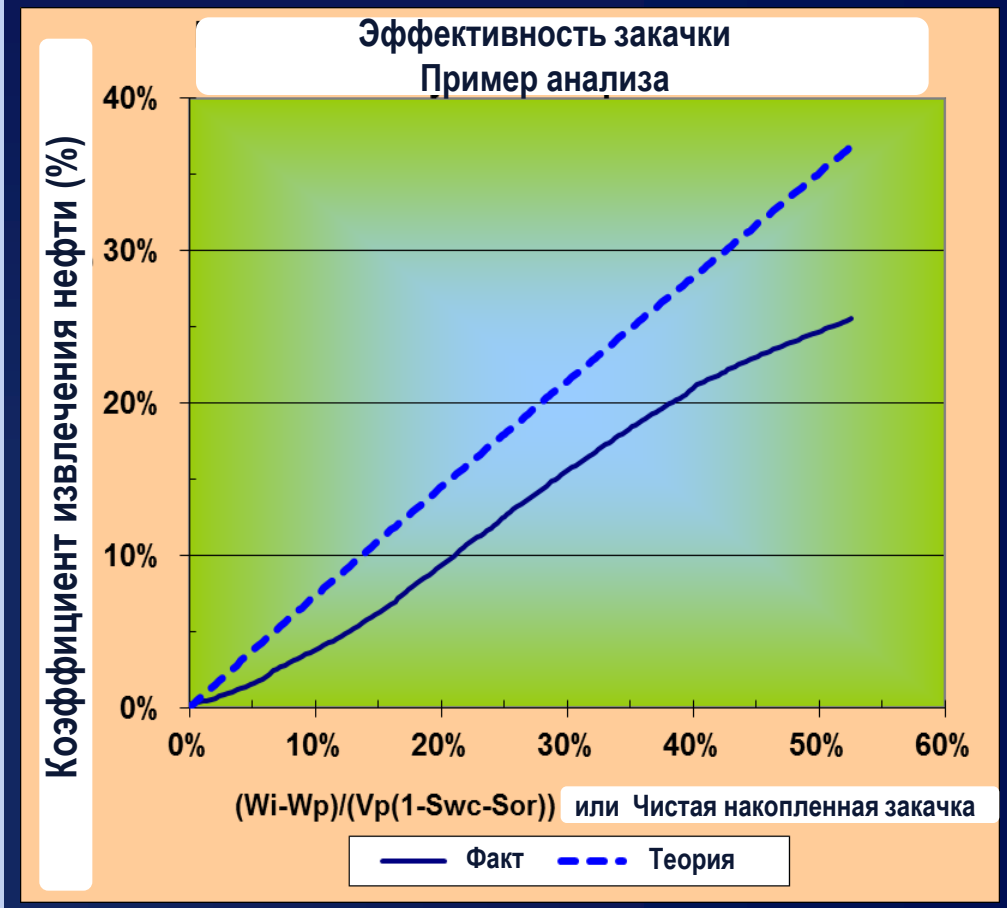
- Уровни компенсации (ППО/год) значительно различаются среди залежей
- Одинаковые стратиграфические единицы, свойства флюидов, структуры и ловушки для всех залежей
- Неблагоприятный коэффициент подвижности
- Между залежами есть связь через общий водоносный горизонт
- Начала периодов первичной добычи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



На сколько эффективна закачиваемая вода с точки зрения вытеснения нефти?

SPE DISTINGUISHED LECTURER

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



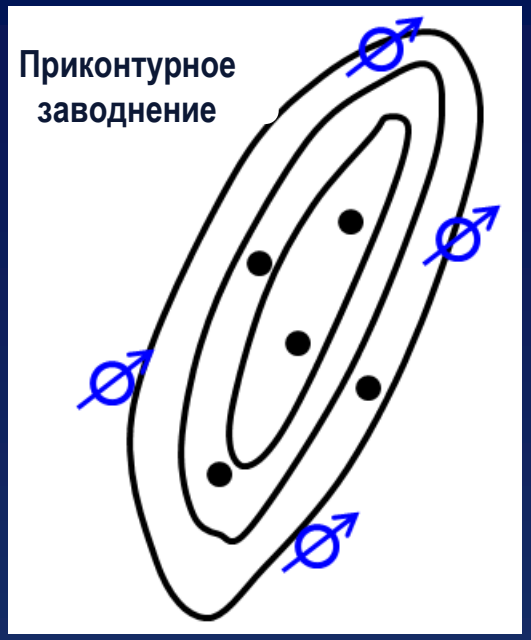
Reference: Staggs, SPE SW Petroleum Short Course, 1980

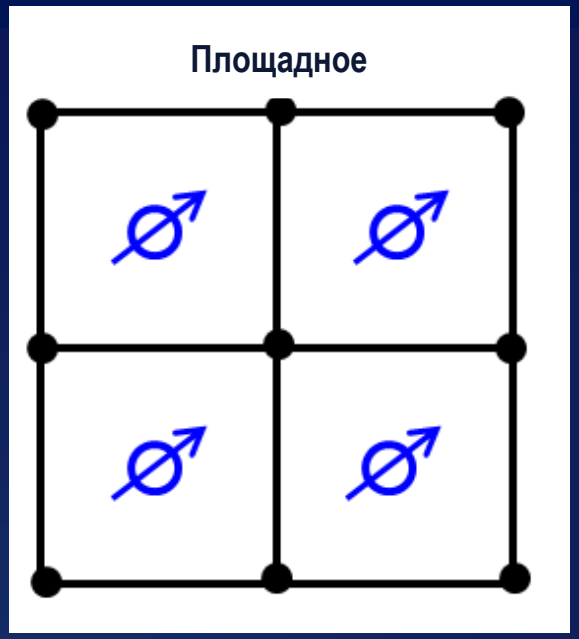
Коэффициент замещения пустотного пространства (VRR)

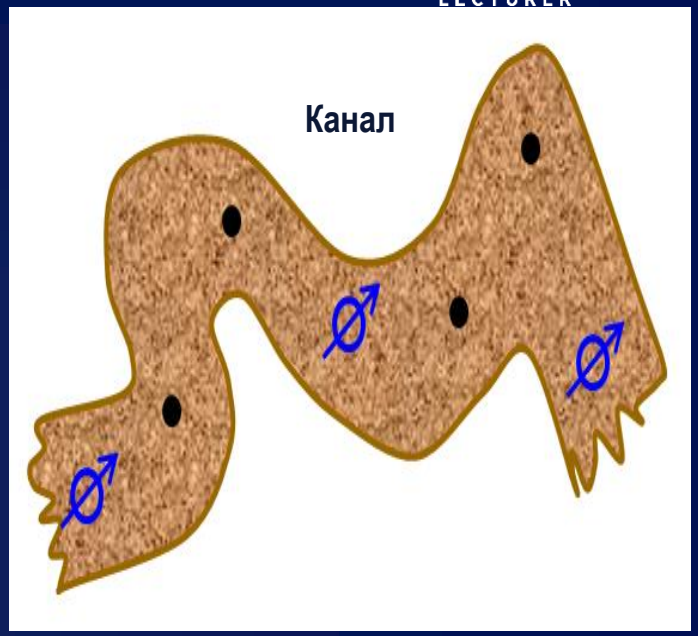
SPE DISTINGUISHED LECTURER

- 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

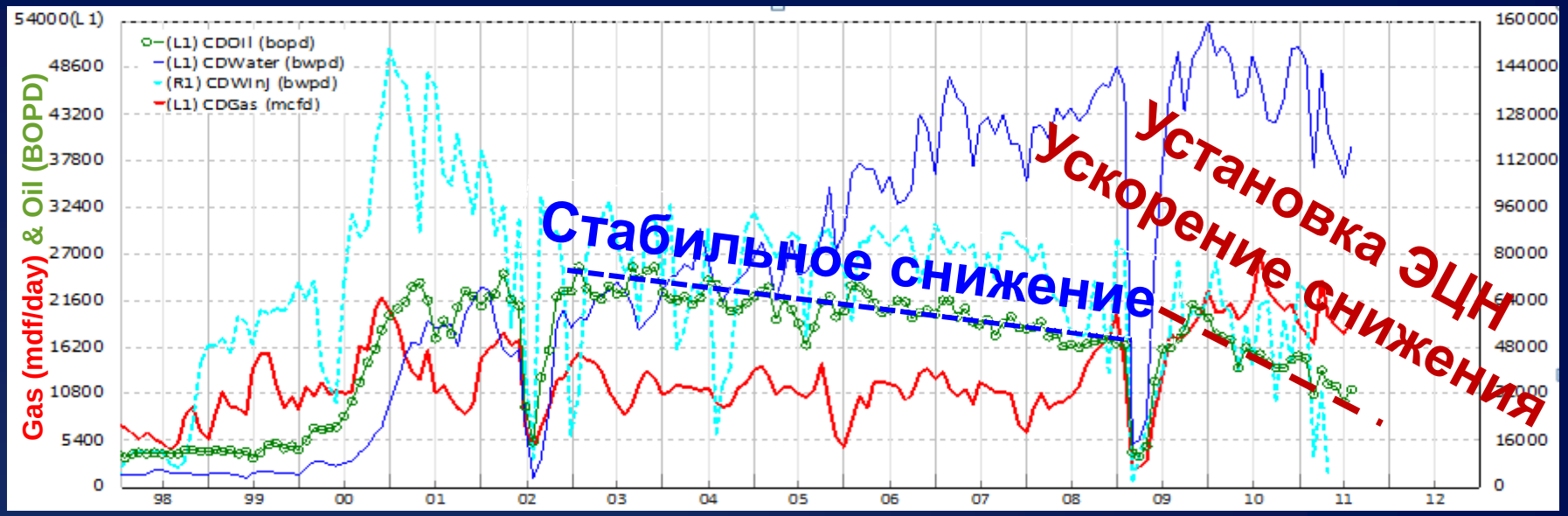
от 1.0 до 1.1

от 1.0 до 1.2

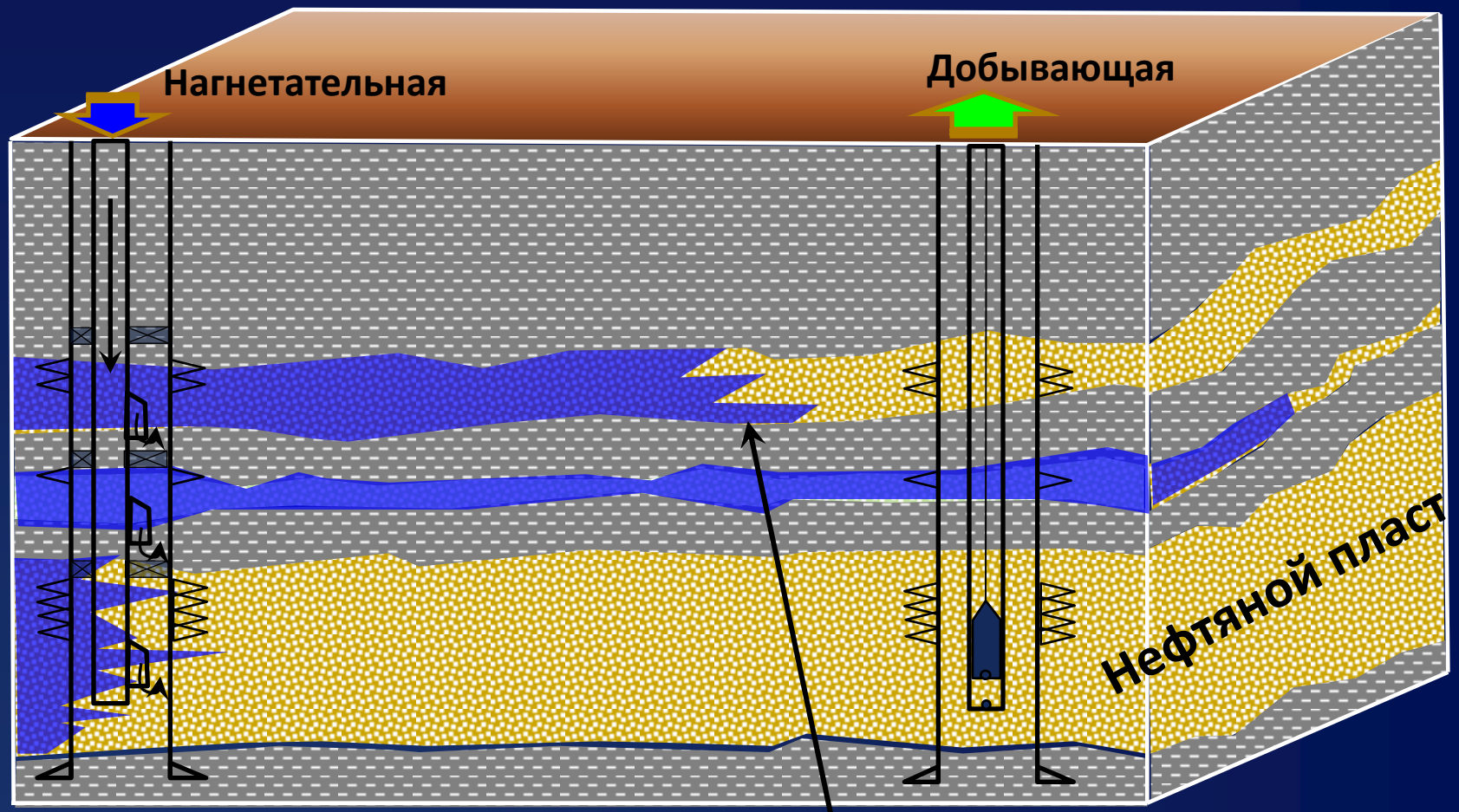
Оцениваете ли вы коэффициенты для целевых пластов ?

Важность управления коэффициентом замещения пустотного пространства

SPE DISTINGUISHED LECTURER



Классическая проблема заводнения в условиях слоистого пласта



Фронт продвижения воды

Управление откликом заводнения в условиях слоистого пласта

SPE DISTINGUISHED LECTURER

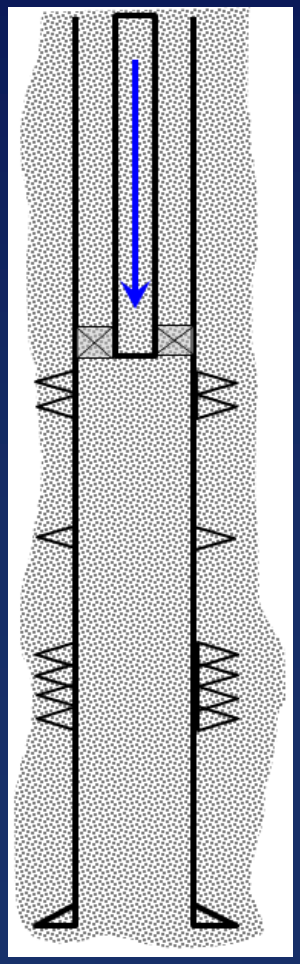
Слой	Запасы нефти (%)	% Kh (md-ft)	Текущий прокачанный поровый объем (%)	Текущий ВНФ
Зона 1	25%	30%	36%	2
Зона 2	15%	50%	100%	20
Зона 3	60%	20%	10%	-
Всего	100%	100%	30%	2.1

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

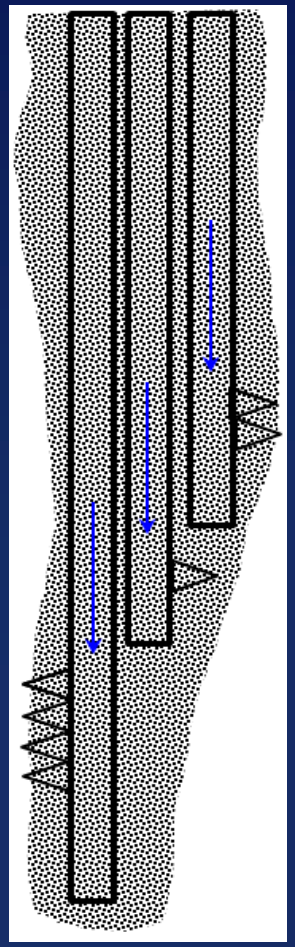
Заканчивание нагнетательных скважин для осуществления контроля

SPE DISTINGUISHED LECTURER

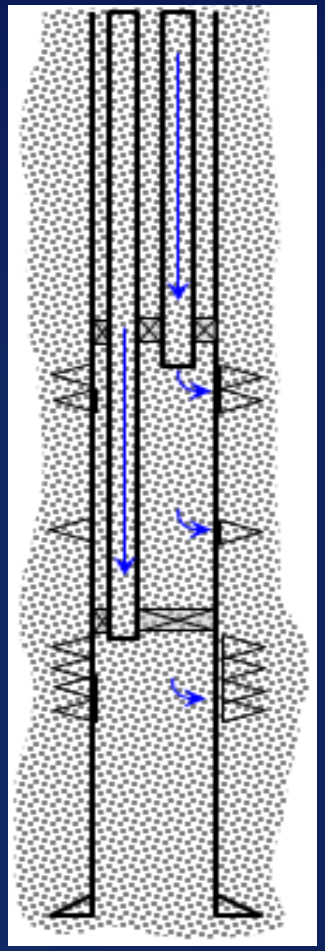
Селективная перфорация



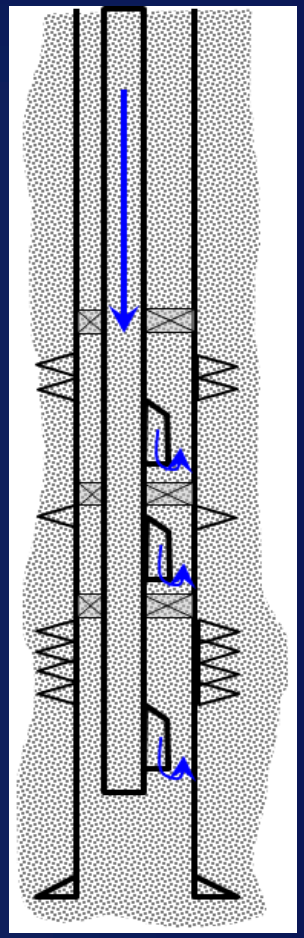
Скважины малого диаметра без НКТ



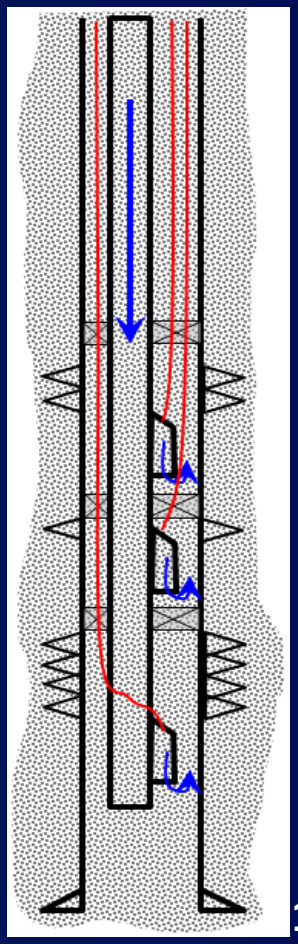
Внедрение 2х НКТ



Пакеры и клапаны с регулируемыми штуцерами



«Умное» заканчиваение с пакером и клапанами ICV



Элементы плана по контролю за процессом заводнения

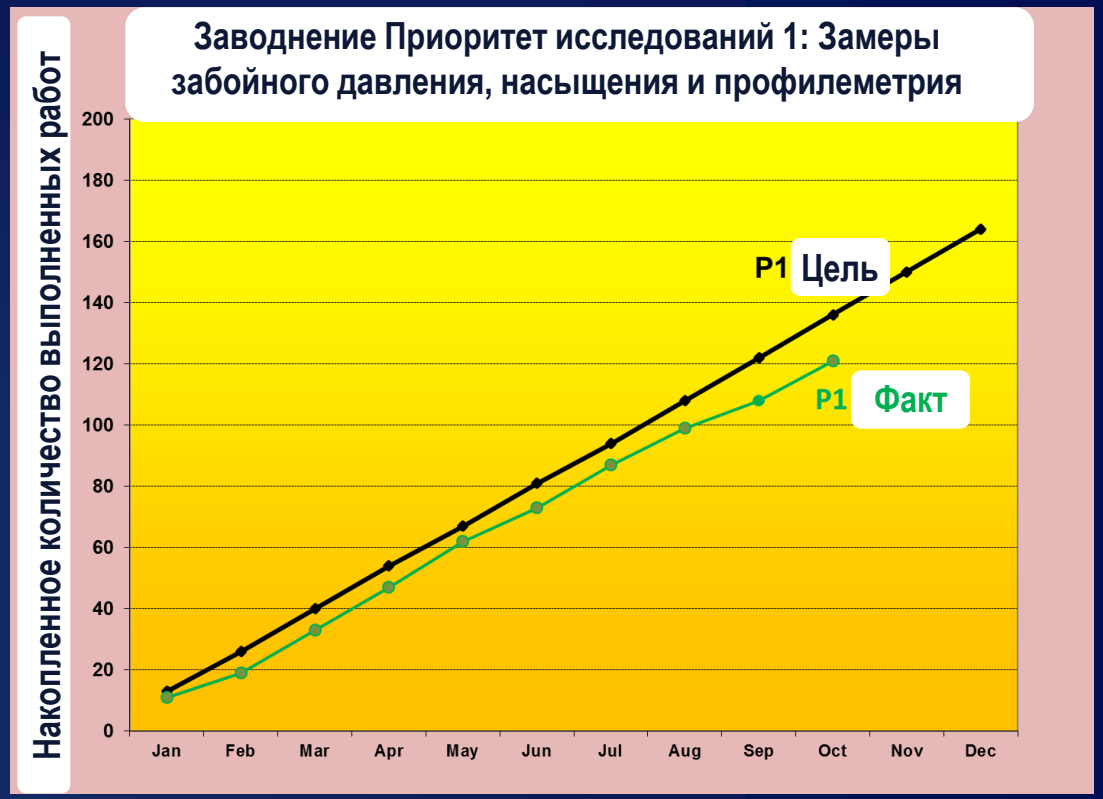
SPE DISTINGUISHED LECTURER

Необходимые рутинные исследования:

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

Специальные исследования:

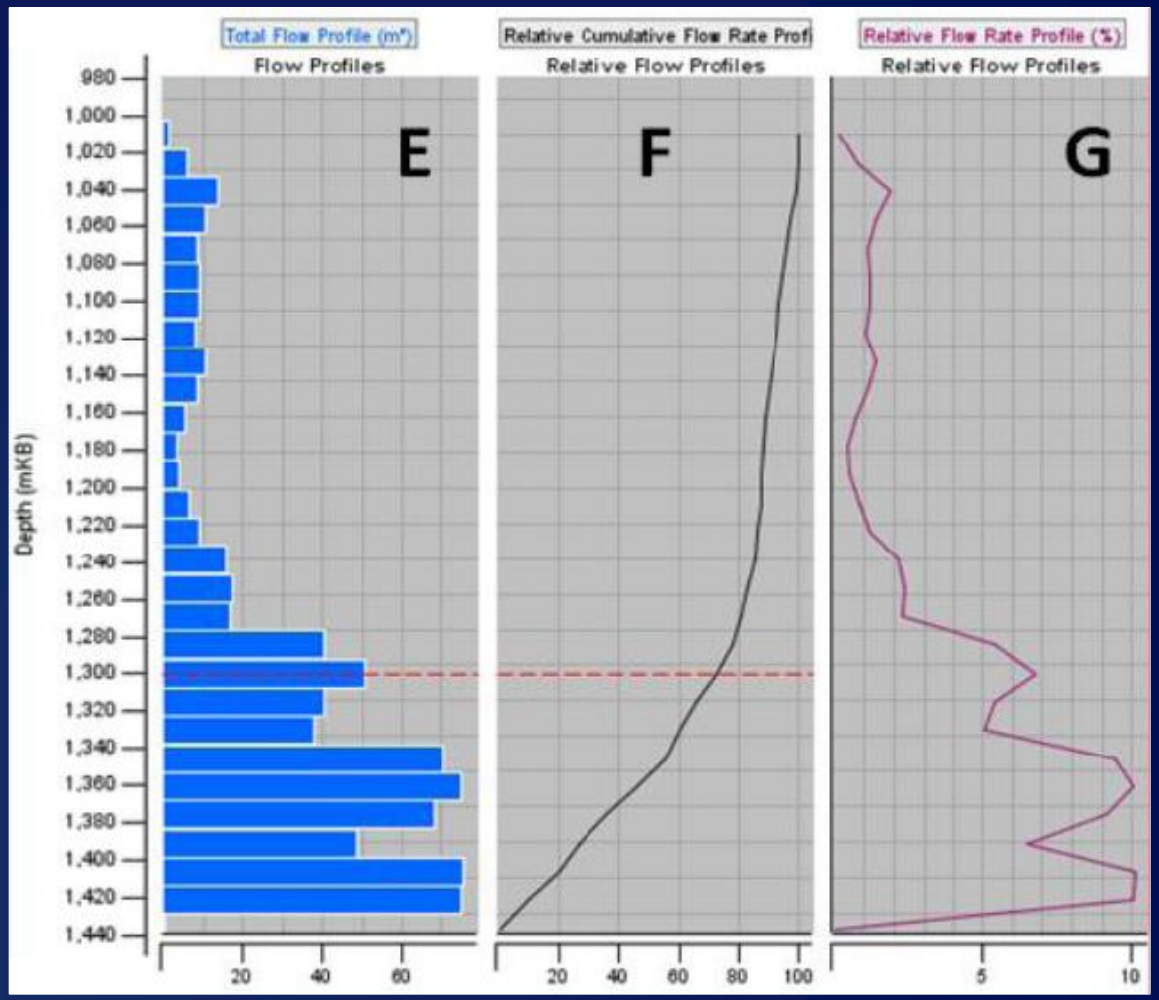
- Исследования на неустановившихся режимах
- Сейсмика
- Профили насыщенности
- ГИС в открытом стволе
- Закачка трассеров
- Отборы проб для PVT тестов
- Испытания пласта в новых скважинах
- Рутинные и спец. исследования керна
- Extended leakoff test (XLOT)



Новая технология: Опто-волоконное Распределенное Акустическое зондирование (DAS) для оценки профиля закачки

SPE DISTINGUISHED LECTURER

- 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 трубками для опто-волоконного профилирования потока.



Copyright owned by SPE - SPE 179377, Irvine-Fortescue, et al

Междисциплинарный контроль за заводнением

SPE DISTINGUISHED LECTURER

Аспекты для контроля и анализа

Скважина

Приемистость % от целевых объемов закачки

Пласт

Коэффициент замещения пустотного пространства и Пластовое давление

Обустройство

Качество воды и мощности для системы ППД

Данные о пласте

Наблюдение за разработкой залежи и накопление информации

Иерархия анализа

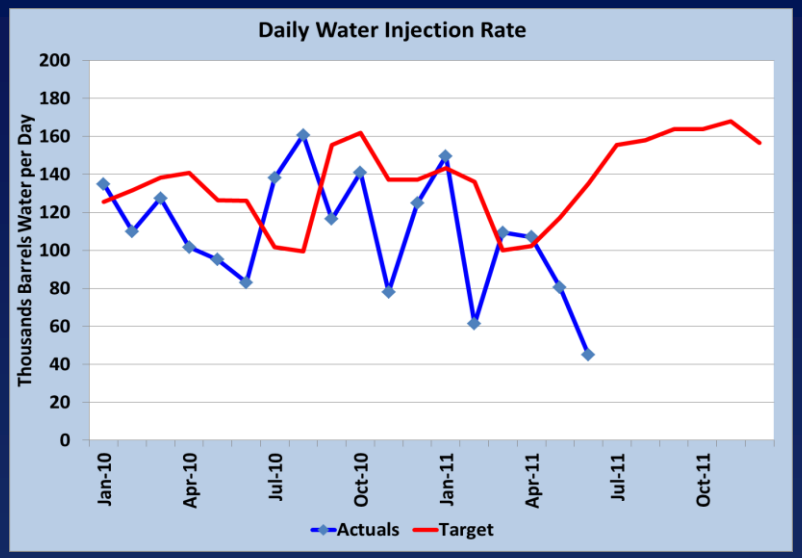
Необходимо больше, чем просто пласт и инженеры, чтобы достичь эффективного заводнения

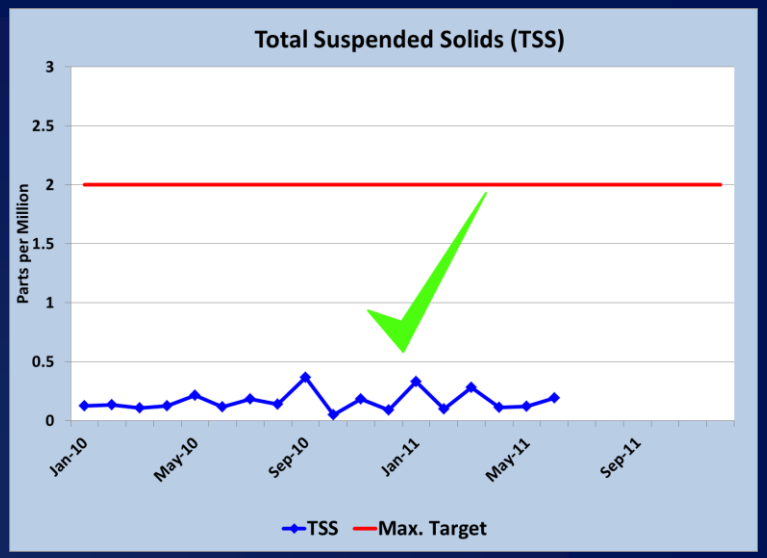
Типовые характеристики качества воды

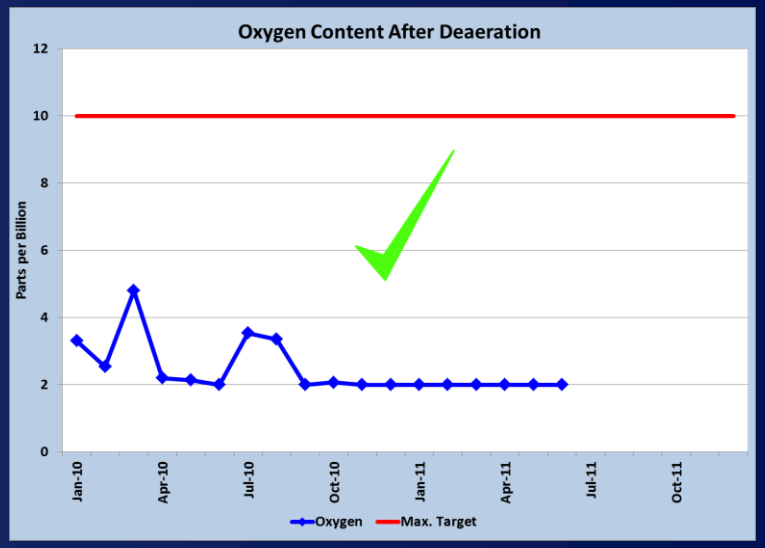
Параметр	Типовые значения
Количество взвешенных частиц	< 2 ppm
Растворенный кислород	< 10 ppb
Содержание сульфатов	< 2 to 40 ppm
Остаток хлора	0.3 – 1.0 ppm
Сидячие сульфатовосстанавливающие бактерии	< 100/cm^2
Плавающие сульфатовосстанавливающие бактерии	<100/mL

Reference: NACE 6962 Lugo et al 2016, IAETCS Abdulaziz 2014, & SPE 98096 Jordan et al 2008

Аспекты для планирования заводнения на Шельфе







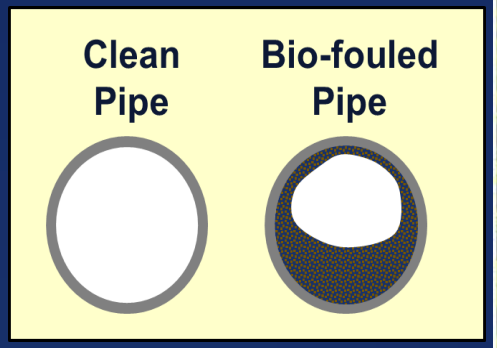
Биозагрязнение: Последствия несоответствия качества воды требованиям?

SPE DISTINGUISHED LECTURER

Что такое биопленка?

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)



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: Последствия несоответствия качества воды требованиям?

SPE DISTINGUISHED LECTURER

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

Коррозия трубы в результате отложений на стенках биоматериала

Reference: NACE 11266, 2011

Кислород: Последствия несоответствия качества воды требованиям?

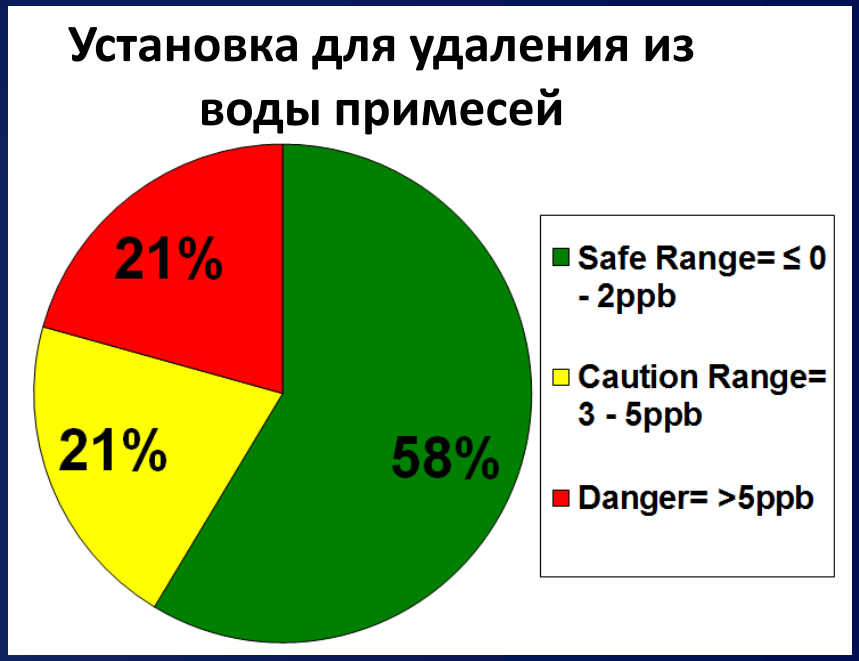
SPE DISTINGUISHED LECTURER

- 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

Установка подготовки закачки воды (WIP)

- Установке подготовки воды уделяется меньше внимания, чем установке по подготовке нефти и газа?
- Обслуживающий персонал в сложной ситуации: соблюдать требования по объему или по качеству нагнетаемой воды?
- Междисциплинарное взаимодействие необходимо для принятия лучших решений по управлению заводнением



Операционные дисциплины, связанные с качеством воды

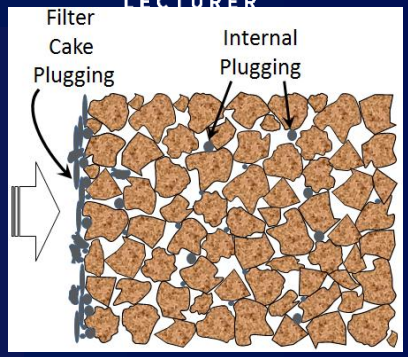
SPE DISTINGUISHED LECTURER

- 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 компенсируются очисткой скребками, 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 песчаных коллекторах.
- 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.
- Кавернозные трещинноватые карбонаты могут быть исключениями.

See SPE 28082, 28488, 39698, 59354,84289,95021, 95726, 102467, 107866,165138, et al

Предотвращение гидроразыва пластов при заводнении

SPE DISTINGUISHED LECTURER

- Для предотвращение гидроразыва пластов в процессе заводнения необходимо следить за тем, чтобы жидкость закачивалась в целевые специально подобранные горизонты.
- Предотвращение прорыва нагнетаемой воды на морское дно или поверхность земли.
- Возрастание общественного и государственного давления
- Исторически внимание было сосредоточено на понимании механизма развития трещин, а не на понимании давления горных пород и покрышек.
- Поддержание давления нагнетания ниже давления гидроразрыва не гарантирует отсутствие трещин - может потребоваться геомеханическое моделирование.

Основные выводы

SPE DISTINGUISHED LECTURER

- Понимать срок реализации и уровень компенсации закачкой (прокачиваемые поровые объемы (ППО) в год)
- Понимать насколько эффективно заводнение
- Иметь план на случай раннего прорыва воды и управление слоистым коллектором
- Понимать, что необходим минимальный контроль и новые оптоволоконные технологии
- Использовать оперативные дисциплины для определения качества воды, иметь критерии для остановки нагнетания, знать химический состав воды.
- Предотвращать гидроразыв пластов вследствие закачки воды
- Использовать междисциплинарное взаимодействие /командный подход

SPE DISTINGUISHED LECTURER

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