

# Новые типы устройств контроля притока

Лукаш Островски  
Baker Hughes, SPE

# План

## **УКП – Производственная сфера**

- Физические процессы в горизонтальных стволах
- Эффективность использования УКП
- Обзор диаграммы выбора

## **УКП – Портфель технологий**

- Типы УКП
- Механическая остановка
- Многофункциональный клапан

## **УКП – Конструкция и обзор диагностики**

- Коэффициенты сопротивления потока
- Процесс проектирования
- Эмпирическое правило для проектирования в песчаных и карбонатных пластах

## **УКП – Характеристики работы притока**

- Оперативный анализ для определения влияния изменения характеристик потока на работу УКП
- Выбор необходимого типа УКП на основании прогнозируемых характеристик притока

## **УКП – Сферы применения**

- Обзор конструкций заканчивания (песчаники и карбонаты, добывающие и нагнетательные скважины, нефть и газ)
- УКП как метод восстановления
- УКП в многоствольных скважинах
- УКП на месторождениях с тяжелой нефтью

# Эволюция технологий в области КП

- **Начало 1990-х** Baker Oil Tools совместно с Norsk Hydro разработали концепцию УКП(эквалайзер) для максимизации добычи без проникновения в продукцию песка из длинных горизонтальных стволов скважин, пробуренных на тонкие нефтяные пласты месторождения Тролл.
  - 1995 Hydro/BOT месторождения Тролл разработали концепцию эквалайзера
  - 1996 Разработали первый калькулятор для установившегося притока силами BOT
- **2001 - 2005** Увеличение числа используемых УКП Norsk Hydro и SaudiAramco
  - Появление ICD HELIX
  - 2002 Разработана первая интегрированная гидродинамическая модель пласта с учетом заканчивания скважины
  - 2003 Первый запуск устройства в Саудовской Аравии
- **2006** Адаптация технологии УКП для изоляции газоносных пластов
  - Разработан модуль УКП CF-M (Module) для технологии гравитационного дренирования с паровым воздействием.
- **2007** Расширение портфеля технологий с появлением многофункционального клапана
- **2008** Интеграция работы УКП в модели пласта с комплексом Petroleum Expert Suite
  - Комплексная характеристика параметров потока УКП
  - Разработка следующего поколения УПК, GENII, меньшая чувствительность к вязкости
  - Достижение суммарной длины участков установки эквалайзеров 2млн.футов при нулевом выносе песка
  - Установка первого УКП CF-M в на месторождении битуминозной нефти в Канаде в скажине для нагнетания пара в рамках технологии SAGD
- **2009 – 2010** Расширение портфеля технологий УКП, ориентированных на желание Заказчика
  - Технология УКП с циркуляционным клапаном, МФК (MTV), и комбинированный вариант
  - Регулируемые УКП, УКП*Select*

# Применения УКП

## Технология УКП

- Увеличение добычи УВ путем задержки прорывов газа или воды путем уравнивания притока по участку длинного горизонтального бокового ствола.
- Эффективно на месторождении
- Установлено более 2 млн. футов в скажинах как с системами контроля за выносом песка, так и без них
  - **50,000 глубинных соединений**
  - **378 миль или 608км**
  - **От Бергена до Трондхайма – 665км**



# **УКП**

## **Производственная сфера**

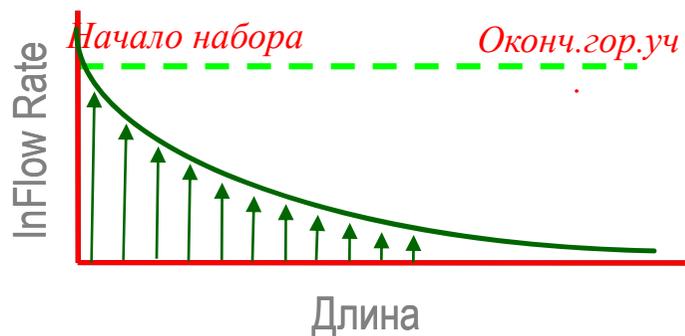
# Для чего нужны УКП?

- Поведение пласта
  - Неоднородности
- Заканчивание скважин
  - Затрубные перетоки
    - Геометрия и свойства флюидов
  - Спад давления в главной трубе
    - Геометрия и свойства флюидов
  - Установка
    - DIF
  - Дополнительный спад давления
    - Повреждение породы



# Физические процессы в горизонтальной скважине

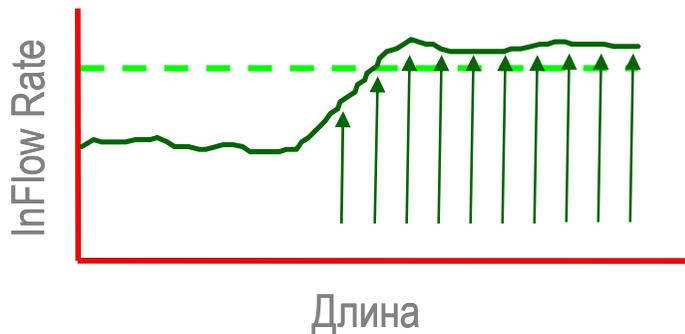
## Однородный пласт



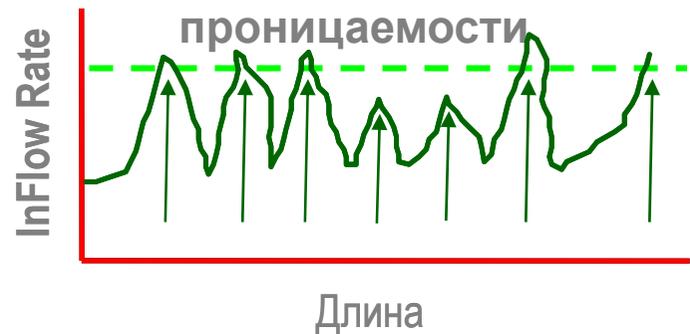
## Высокая проницаемость участка начала набора



## Высокая проницаемость в оконч.гор.уч.

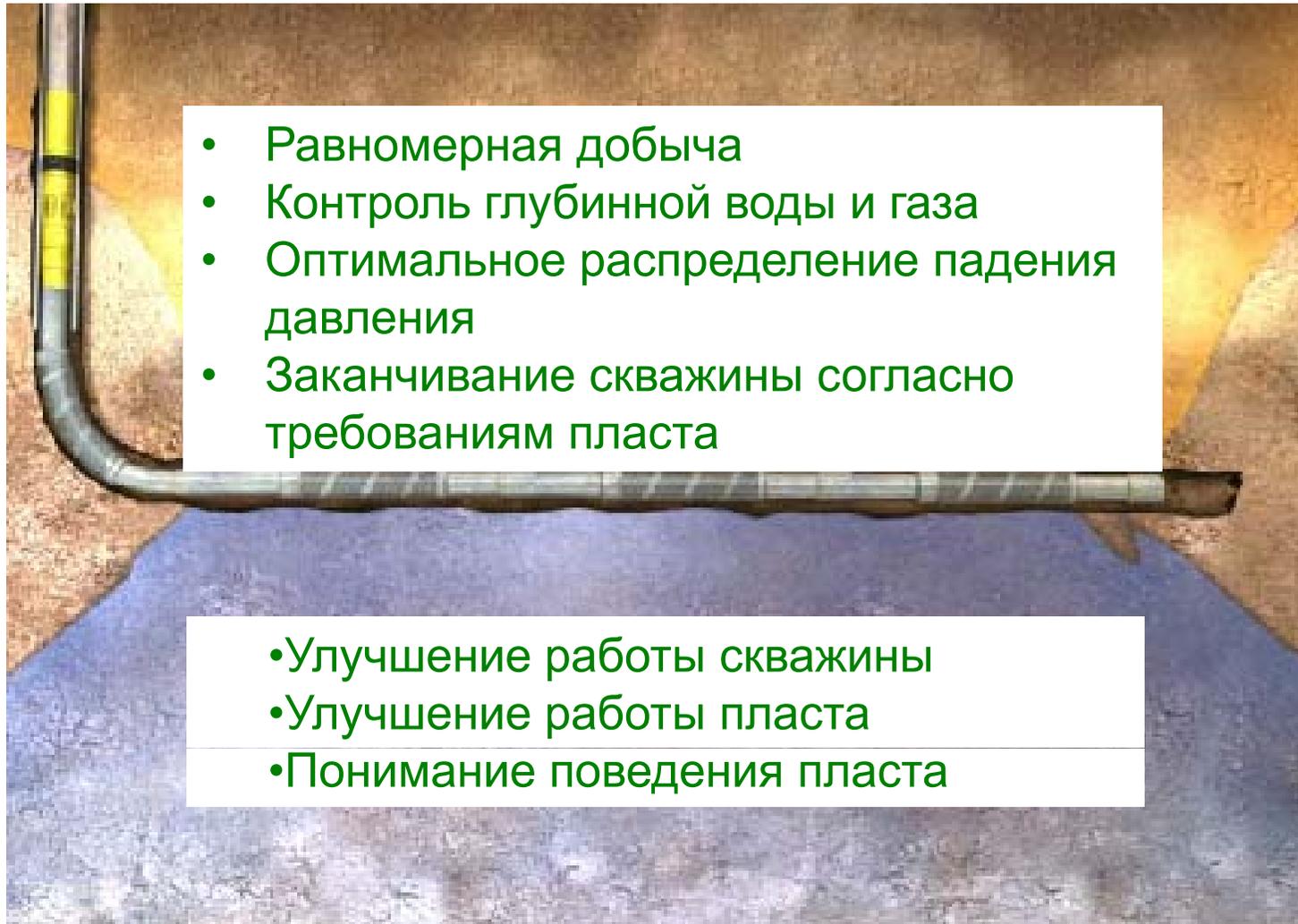


## Чередование слоев высокой и низкой проницаемости



**Проблема: Прорыв воды / газа / пара**

# Технология уравнивания притока



- Равномерная добыча
- Контроль глубинной воды и газа
- Оптимальное распределение падения давления
- Заканчивание скважины согласно требованиям пласта

- Улучшение работы скважины
- Улучшение работы пласта
- Понимание поведения пласта

# Матрица выбора УКП– Упрощенный подход

- ✓ Неоднородности
- ✓ Эффект «Heel to Toe»
- ✓ Коэффициент подвижности
- ✓ Пластовое

$$PI = \frac{q}{\Delta p} \text{ (stbd / psi)}$$

<p> <math>P_p &gt; 2000 \text{ psi}</math>  <math>P_z &gt; 0.7 P_p</math>  <math>K &gt; 1 \text{ Дарси}</math>  <math>\mu &gt; 1 \text{ сП}</math>                      Обводненность &lt; 30%                 </p>	<p> <math>P_p &gt; 2000 \text{ psi}</math>  <math>K &gt; 1 \text{ Дарси}</math>  <math>1 \text{ сП} &lt; \mu &lt; 300 \text{ сП}</math> </p>
<p> <math>P_r &lt; 1000 \text{ psi}</math>  <math>Q &lt; 1000 \text{ ст.барр./сут.}</math>  <math>GOR &gt; 3000 \text{ ст.к.ф./ст.б.}</math> </p>	<p> <math>P_r &gt; 2000 \text{ psi}</math>  <math>Q &gt; 1000 \text{ ст.барр./сут.}</math>  <math>\mu &gt; 1 \text{ сП}</math> </p>

- Технические :
  - Затрубный фонтан
  - Перетоки
  - Дебит на соединение

$$\Delta p_{basepipe} = f \frac{l}{d} \rho_m \frac{v_m^2}{2 g_c 144} \text{ (psi)}$$

$$f = f(\text{Re})$$

$$\text{Re} = \frac{d \rho_m V_m}{\mu_m}$$

# **УКП**

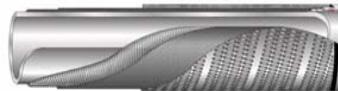
## **Портфель технологий**

# УКП: Портфель технологий

## Sand Control Screen Type



BakerWeld  
Jacketed Sand Screen



Excluder2000  
Premium Mesh Screen



BakerWrap  
Wrap-on-Pipe Screen

## Non-Sand Control (Consolidated Formation)



EQUALIZER-CF

## ICD (Inflow Control Device)



EQUALIZERHELIX



GENII



EQAULIZERSelect

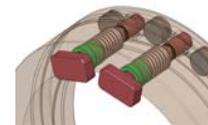
## Accessories



RE Packer  
(Reactive Element)



MPas Packer



MTV  
(Multi Tasking Valve)

# Технологии УКП с учетом потребностей Заказчика

Sand Control Screen  
Type



**BakerWrapXP**

*BakerWrapXP Premium Wrap-on-Pipe Screen opted due to the rigid environment assembly to be run.*

---

ICD  
(Inflow Control Device)



**EQUALIZER GENII**

*GENII ICD configuration chosen due to it's viscosity independent feature.*

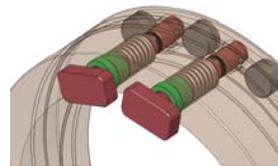
---

**Accessories**



**MPasPacker**

*For Zonal Isolation*

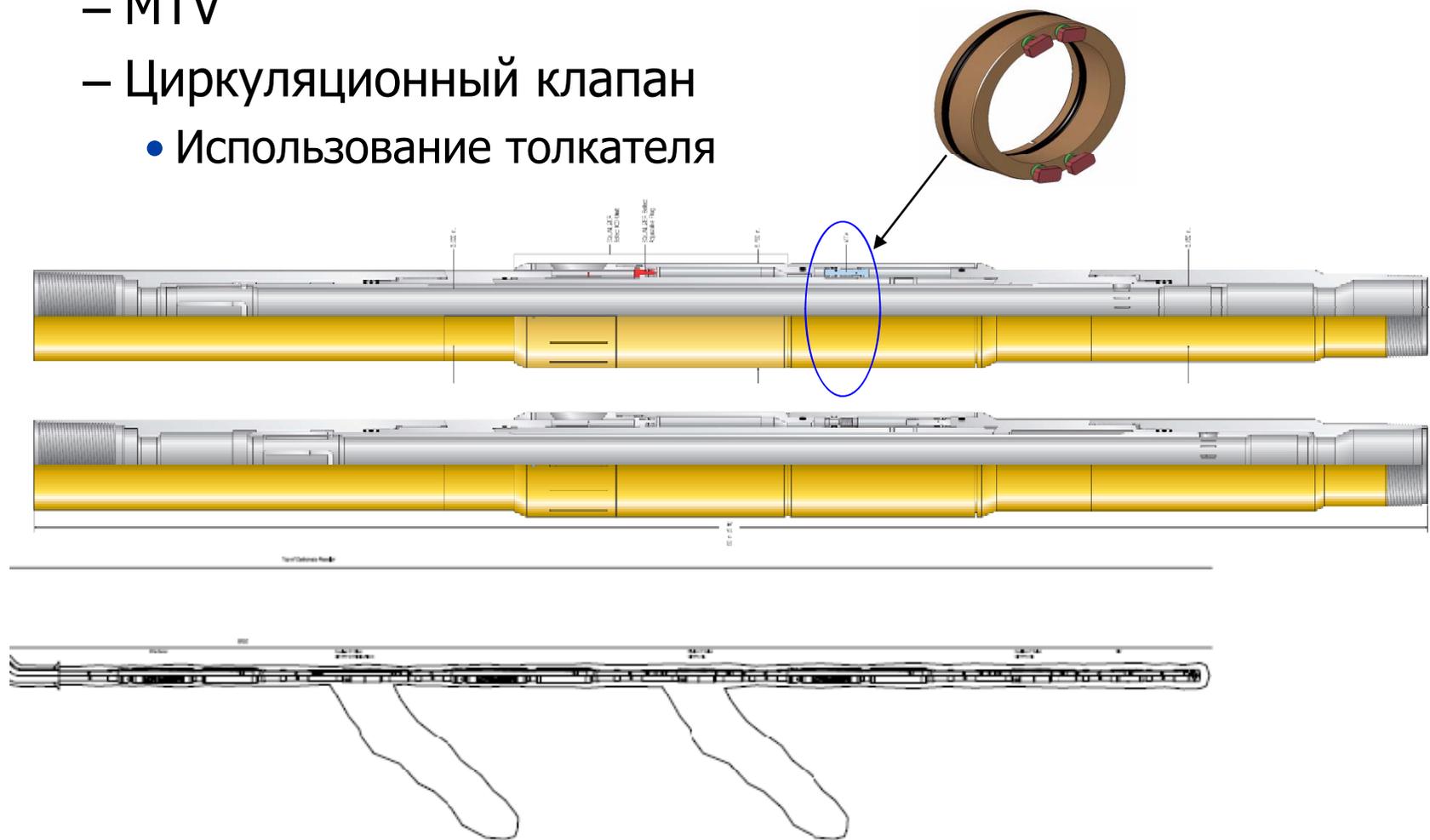


**MTV  
(MultiTasking Valve)**

*For operational ease of setting all Packers in a single trip system and its proven ability to aid fluid losses during upper completion installation.*

# Заканчивания с применением УКП с учетом потребностей Заказчика

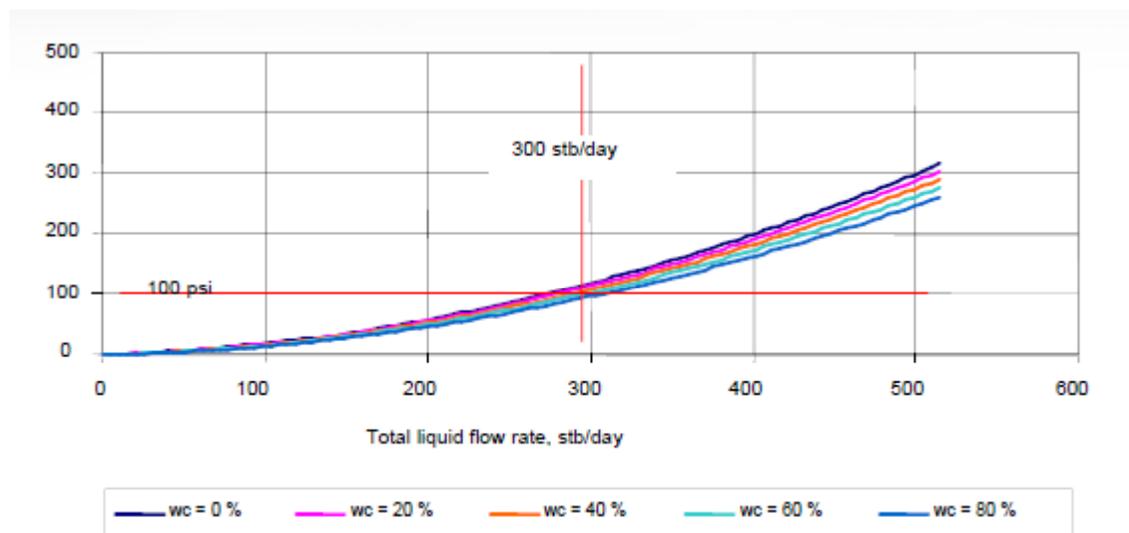
- 4-1/2" УКП CF *Select* с
  - MTV
  - Циркуляционный клапан
    - Использование толкателя



# Конструкция УКП – Вариант 1 – Helix

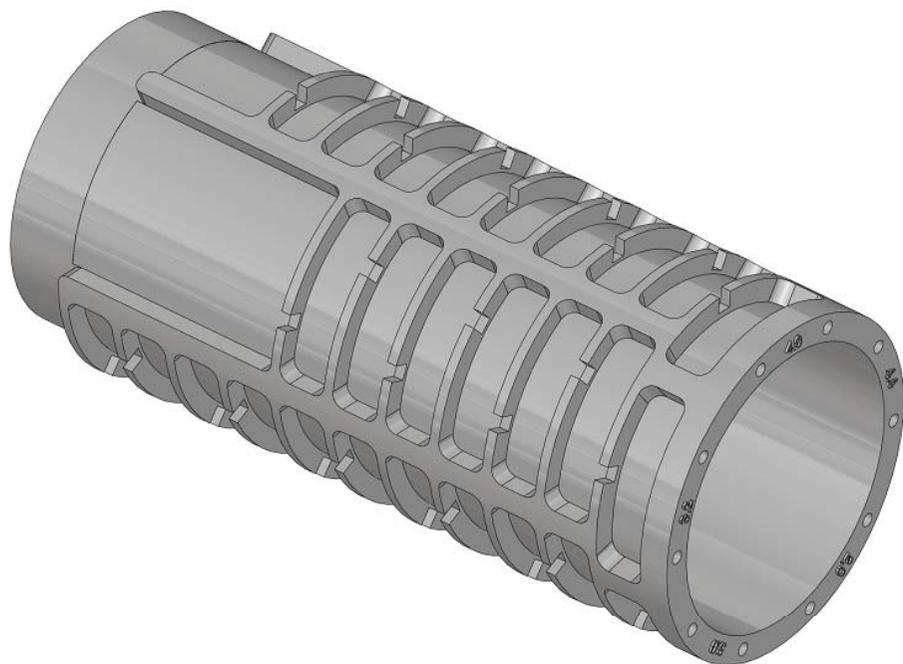


УКП Контроль выноса песка



УКП для цементированных пород С

## Конструкция УКП– Вариант2 - *Selective*



### Системные характеристики и требования:

- Большой участок, низкие скорости с конструкцией HELIX
- Низкие скорости
- Сопротивление интенсивной эрозии
- Нет чувствительности к вязкости
- Увеличенное сопротивление потока при наступлении воды
- Многочисленные настройки
- Конструкция самоочистки
- Настройка на месторождении/в цехе добычи

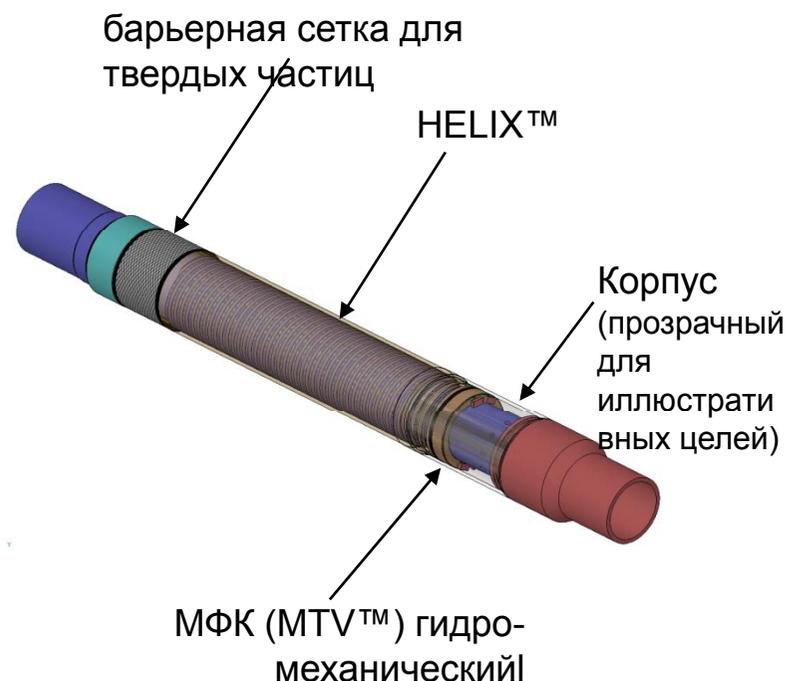
# Компоненты УКП – МФК – Вариант 1

## Системные характеристики:

- Гидро-механический клапан (MTV – Multi Tasking Valve) создает барьер давления между КНБК и затрубом. Это позволяет поддерживать функционирование всех гидравлически активированных устройств, включая подвески хвостовика пакеры хвостовика и тд. без необходимости использования внутренней колонны

## Системные преимущества:

- Экономия за счет времени работы БУ
- Экономия временных и денежных ресурсов в сфере логистики и при инспектировании
- Устраняет дополнительные проблемы по ОТ ПБ и ОС, связанные с подъемом и работой с внутренней колонной



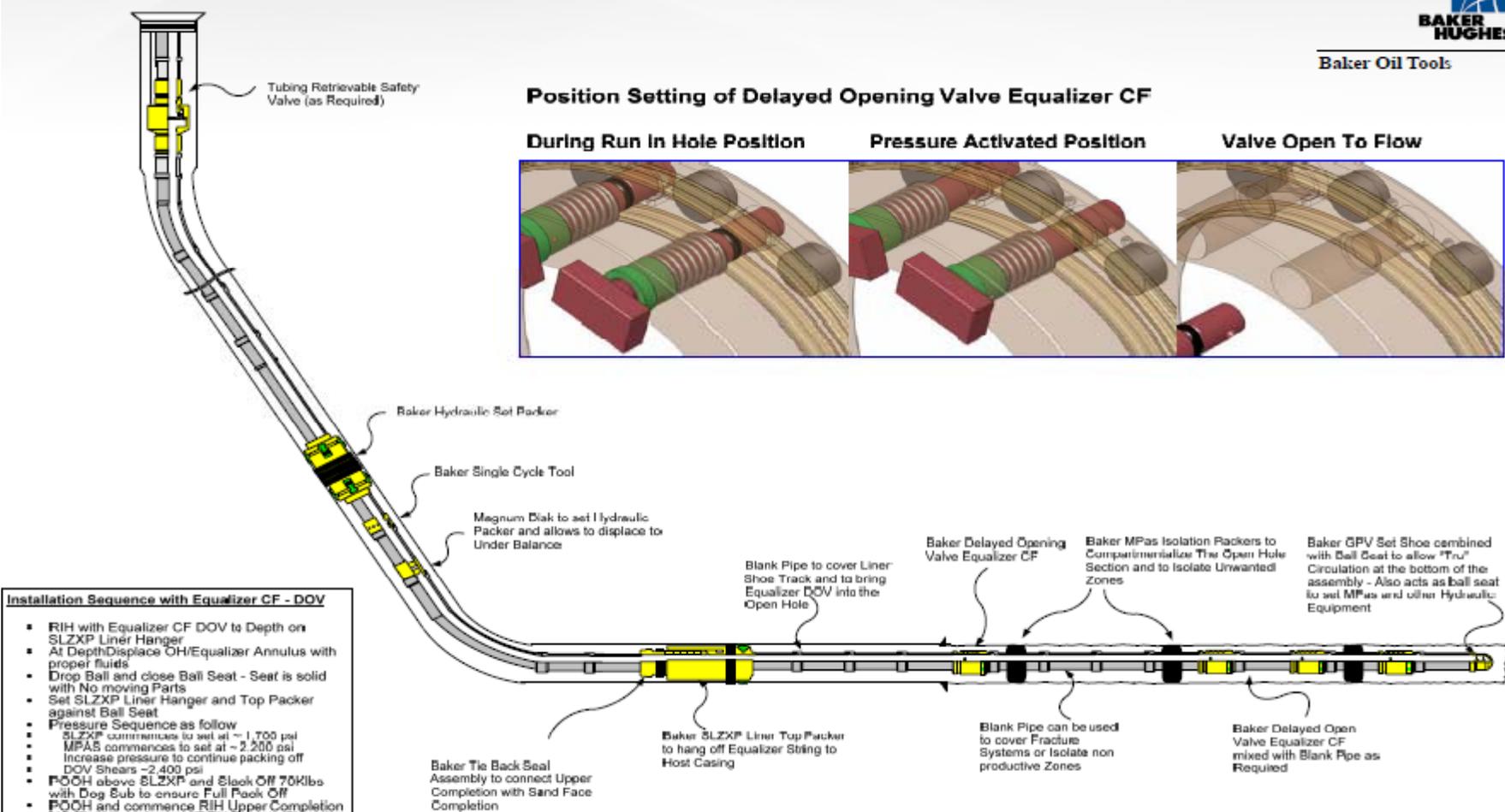
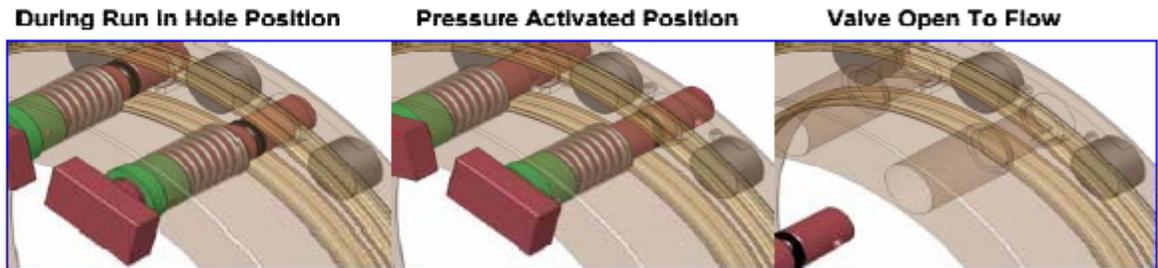
## УКП для СФ с технологией МФК

# УКП с МФК



Baker Oil Tools

## Position Setting of Delayed Opening Valve Equalizer CF



- Installation Sequence with Equalizer CF - DOV**
- RIH with Equalizer CF DOV to Depth on SLZXP Liner Hanger
  - At Depth Displace OH/Equalizer Annulus with proper fluids
  - Drop Ball and close Ball Seat - Seat is solid with No moving Parts
  - Set SLZXP Liner Hanger and Top Packer against Ball Seat
  - Pressure Sequence as follow
    - SLZXP commences to set at ~ 1,700 psi
    - MPAS commences to set at ~ 2,200 psi
    - Increase pressure to continue packing off
    - DOV Shears ~2,400 psi
  - POOH above SLZXP and Slack Off 75Klbs with Dog Sub to ensure Full Pack Off
  - POOH and commence RIH Upper Completion
  - NO Fluid Loss Issues (DOV Remain Closed with 150 psi over balance)
  - Space Out and displace to desired Under Balance as required

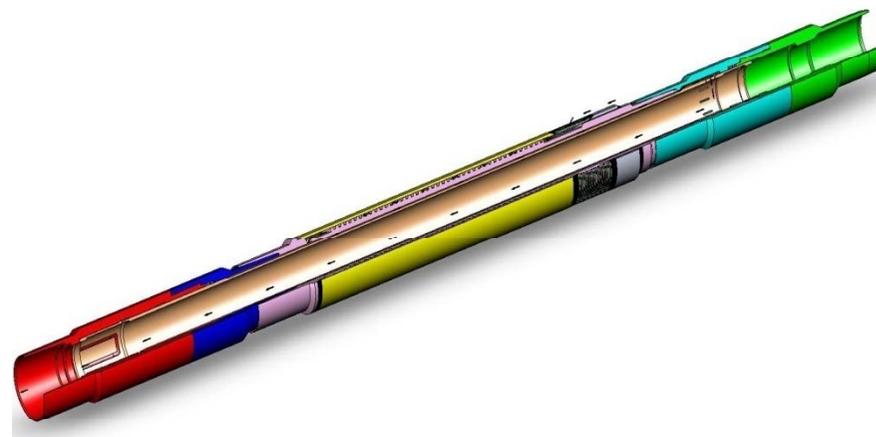
## Компоненты УКП – Циркуляционный клапан– Вариант 2

### Характеристики системы :

- Встроенный циркуляционный клапан вместе с разделением на блоки

### Преимущества системы:

- Закрывается для изоляции вода и газа в каждом блоке
- Открывается через определенный период времени для извлечения оставшихся запасов
- Позволяет производить последующие ГТМ время от времени



Циркуляционный клапан

# УКП: Обзор рынка

- **Спиральный тип** (BAKER EQUALIZER HELIX™): большая область притока, низкая скорость, сильно зависит от вязкости выше 10 сП. Нерегулируемый
- **Трубный тип** (HAL): небольшая область притока, высокая скорость, частично нет чувствительности к вязкости. Регулируемый
- **Штуцерный тип** (WFT, SLB, FLOTECH): небольшая область притока, высокая скорость, нет чувствительности к вязкости до 20-25 сП  
Регулируемый
- **Гибридный тип** (BAKER EQUALIZER™ GENII™): большая область притока, низкая скорость, нет чувствительности к вязкости до 60 сП. Нерегулируемый
- **Новый гибридный тип** (BAKER EQUALIZER™ *Select*™): большая область притока, низкая скорость, нет чувствительности к вязкости до 300 сП.  
Регулируемый

# **УКП**

## **Обзор конструкции и диагностики**

# Типы геометрии УКП

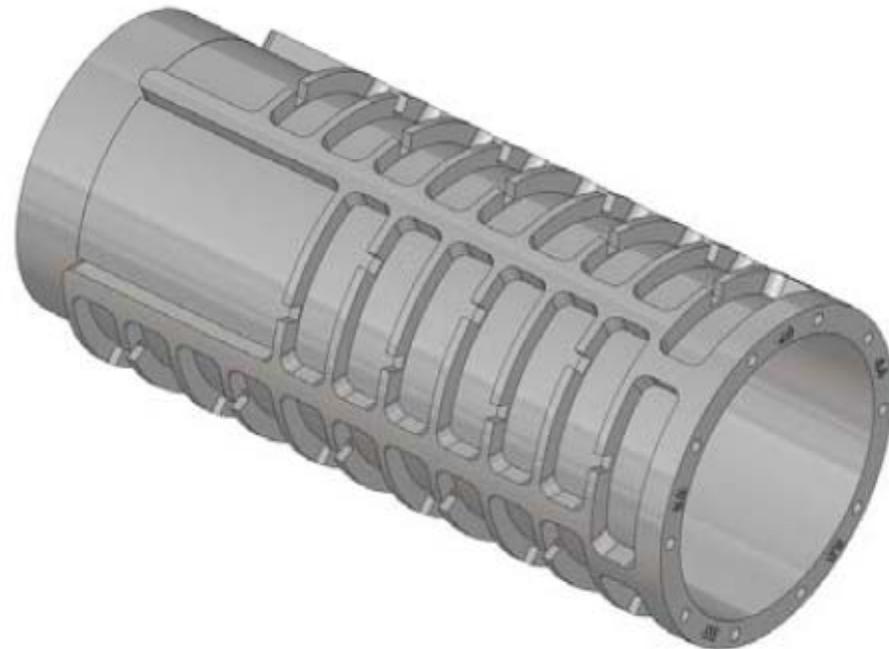


Регулируемая на месторождении версия гибридного УКП. Необходимый уровень ограничения притока устанавливается с помощью установки внутреннего объема пространства прибора, открытого для притока.

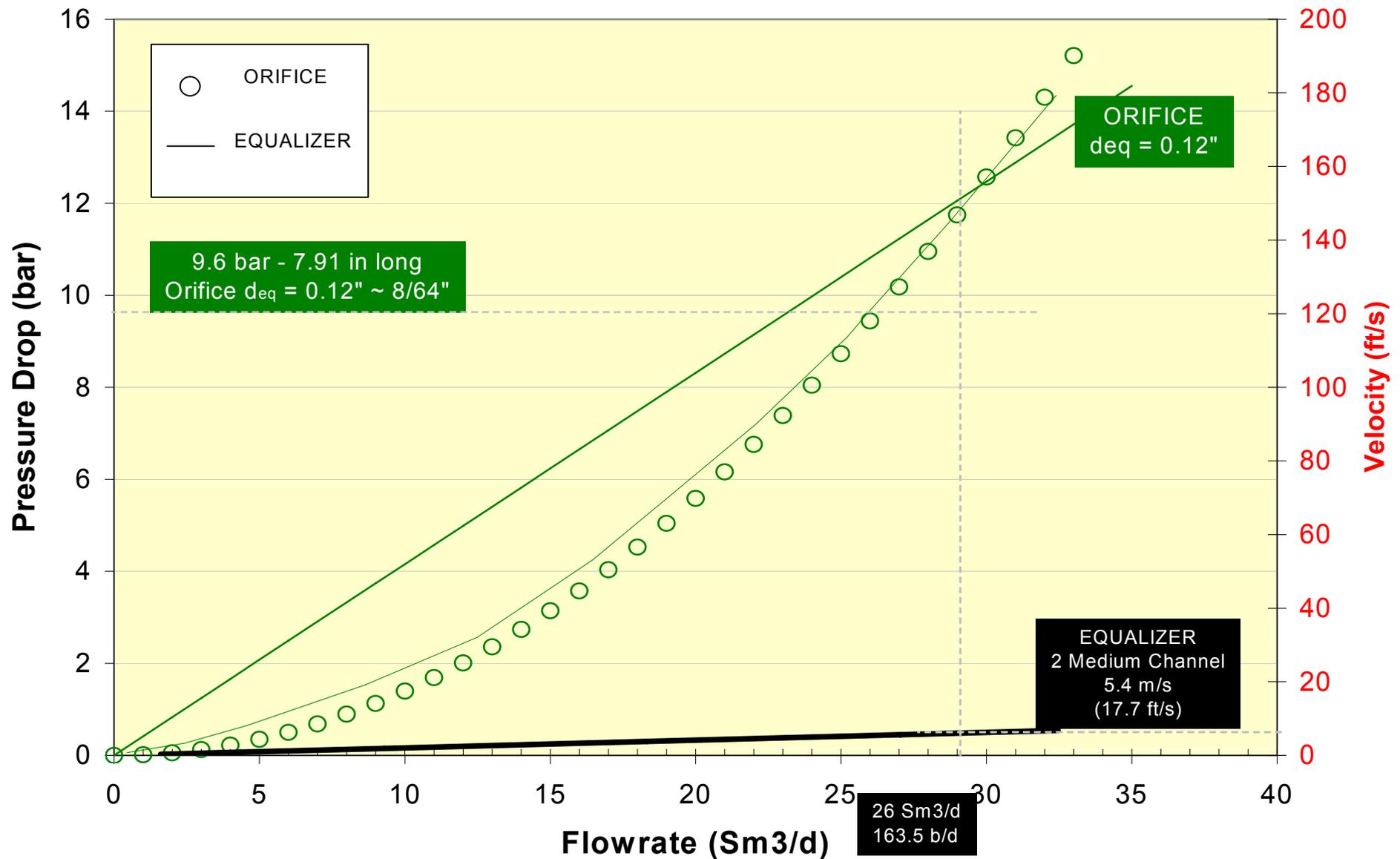
Поскольку конструкция предусматривает наличие спиральных каналов, которые создают требуемую потерю давления в результате трения, возникающего по мере движения флюида.



Конструкция основана на дистрибутивной ограничивающей геометрии, что делает ее менее чувствительной к эрозии и обеспечивает устойчивость к закупориванию внутренней рабочей поверхности эквалайзера.

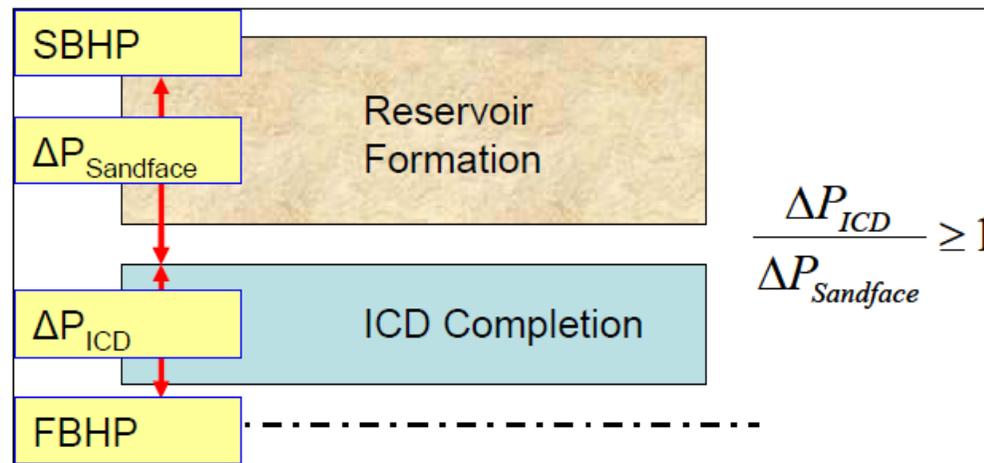


# Коэффициент сопротивления потока(FRR) $FRR=dp$ [bar] для воды @ станд. Усл.



# Описание процесса проектирования УКП

- В зависимости от типа пласта: цементированные или нецементированные породы
- Переменные будут определены:
  - Тип УКП (Helix, Hybrid, и тд.)
  - УКП Сводные цифры
  - Достаточное падение давления
  - Количество пакеров и распределение (деление на блоки)



## Эмпирическое правило проектирования для песчаных и карбонатных пластов: количество и коэффициент сопротивления потока

### • Песчаники

- Длина горизонтального участка (м) / 12 м/соединение ~ сводные цифры или
- Целевой пласт (м<sup>3</sup>) / 32 м<sup>3</sup>/сут/соединение ~ сводные цифры
- Песчаник
  - Разделение на блоки для уменьшения затрубного фонтана
  - Единые или различные настройки в зависимости от неоднородности
- Гравийная набивка
  - Низкий коэффициент сопротивления притока для обеспечения возможности прокачки гравия через УКП

### • Карбонаты

- Длина горизонтального участка (м) / 90 м ~ количество блоков
- Целевой пласт / блок ~ доб./блок
- доб./блок м<sup>3</sup>/с / 40 ~ сводные цифры
- Используется 1.6 КСП и определяются сводные цифры

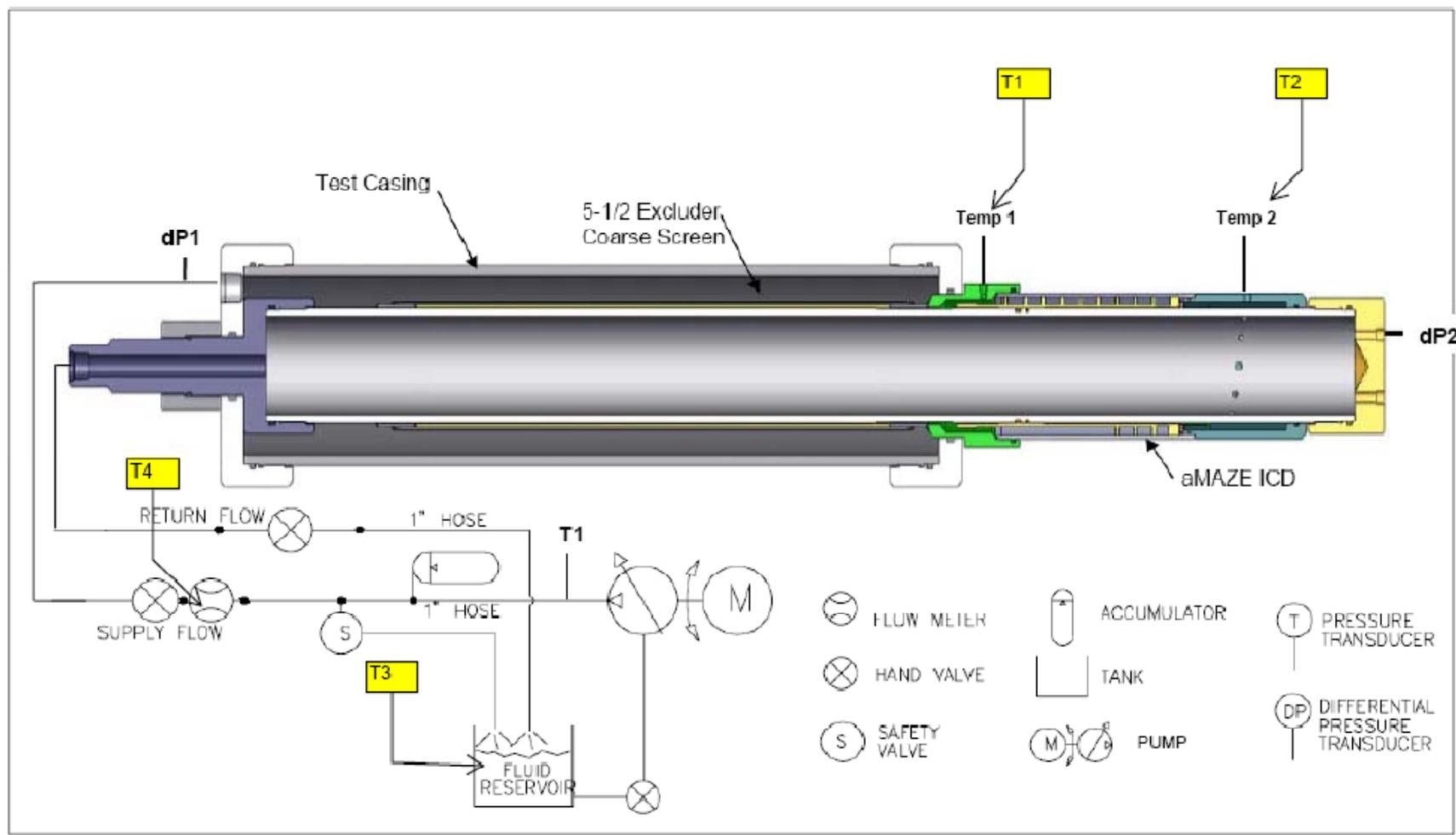
## Что необходимо анализировать при заканчивании с УКП (диагностике)?

- Работа скважины идет по плану?
- УКП работает корректно?
- Наблюдаются ли в какой-то зоне дополнительные спады давления - закупорка или скин?
- Дебиты нормальные или требуется оптимизация?

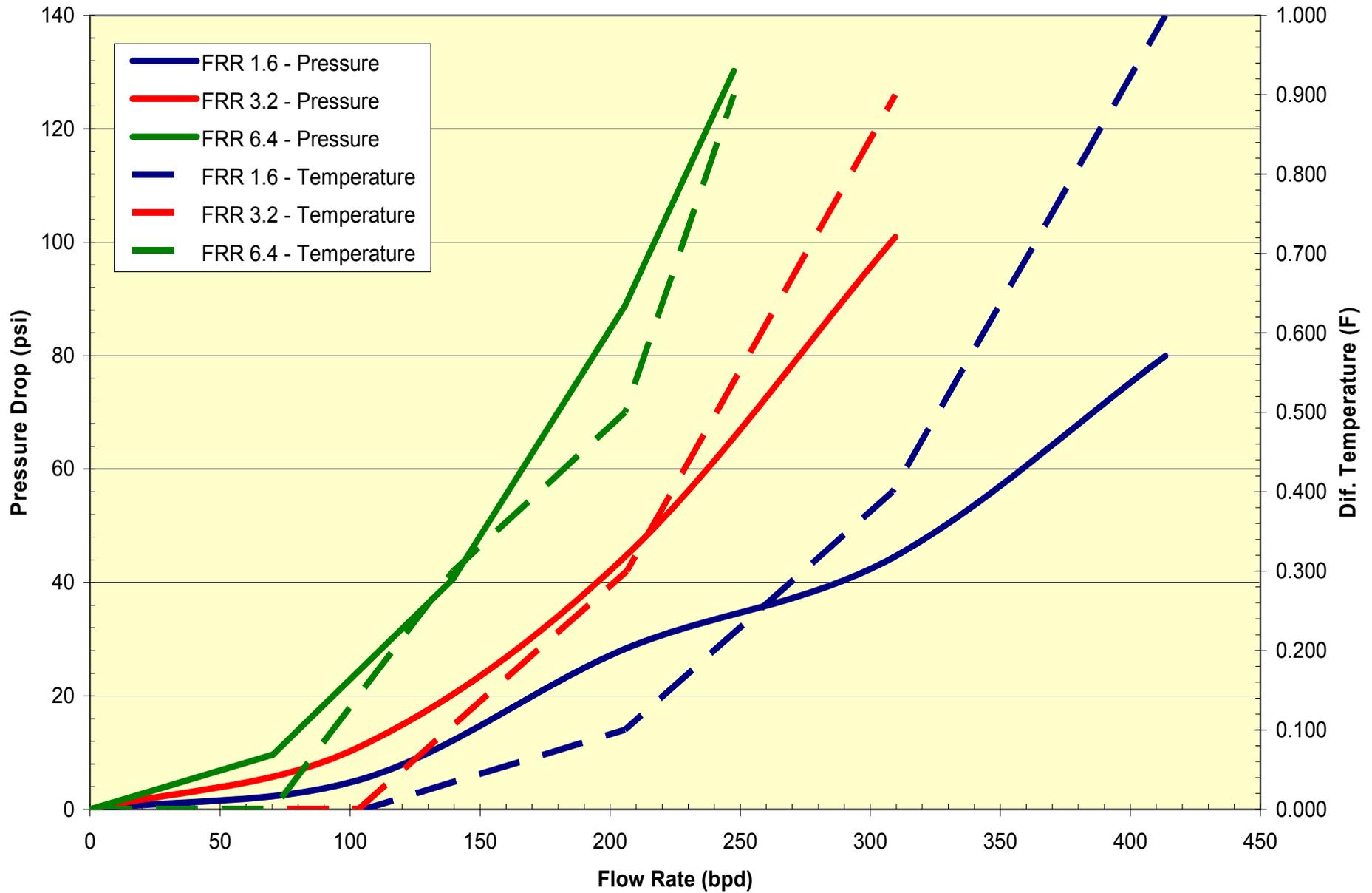
# Оценка УКП – Требования

- Данные (поверхностные данные)
  - Данные по добыче (дебиты и давления)
  - Суточная сводка по бурению
- Замеры (глубинные данные)
  - Каротаж во время бурения/ГИС
  - Профиль притока
  - ГИС с использованием трассера
- Моделирующие программы
  - Оперативный расчет (т.е. Глубинный сетевой анализ)
  - Интегрированная программа гидродинамического моделирования пласта

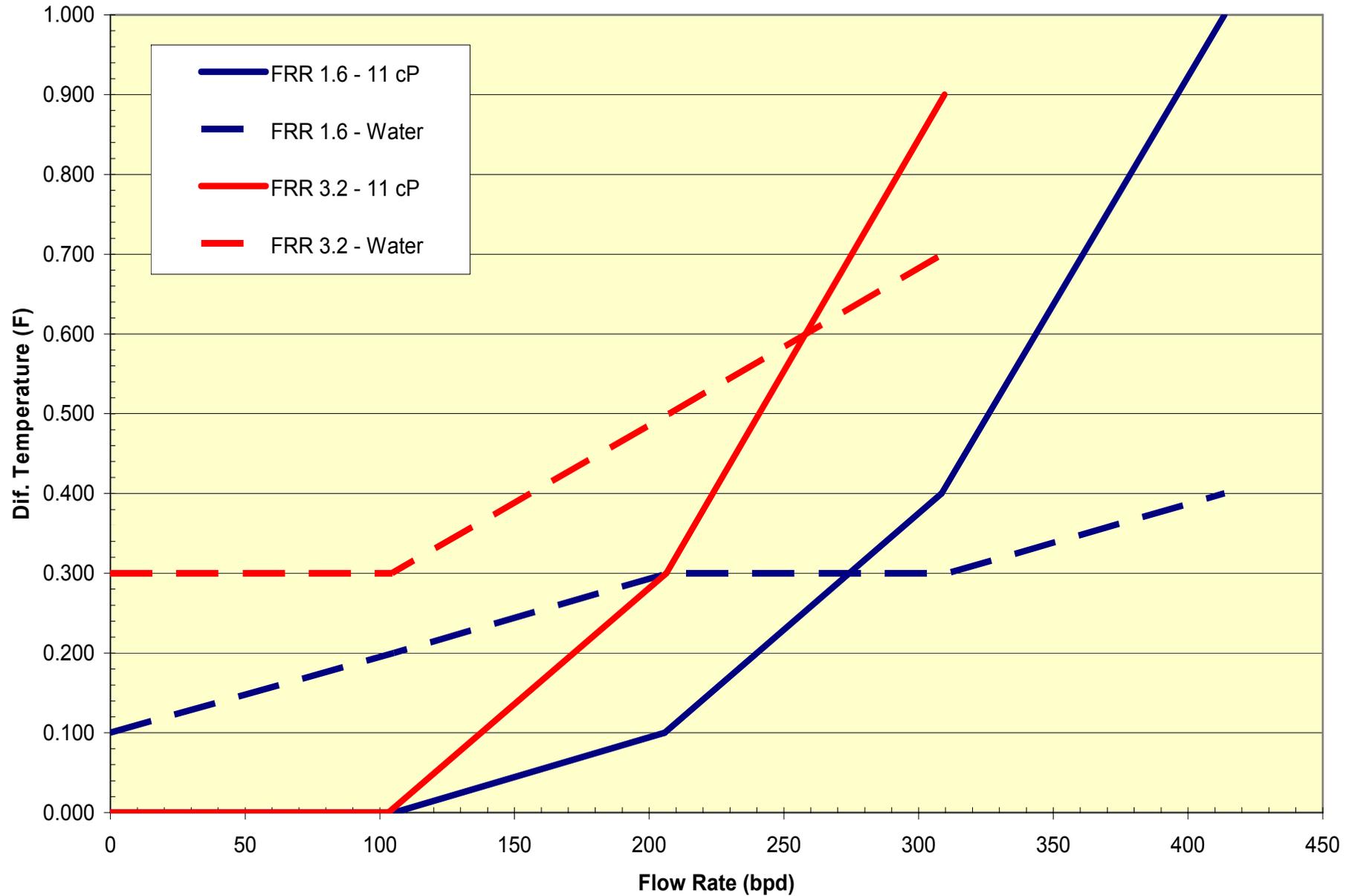
# Измерения температурного эффекта, используя УКП



# Разн. давл. и темп. с УКП типа Select – 11 сП



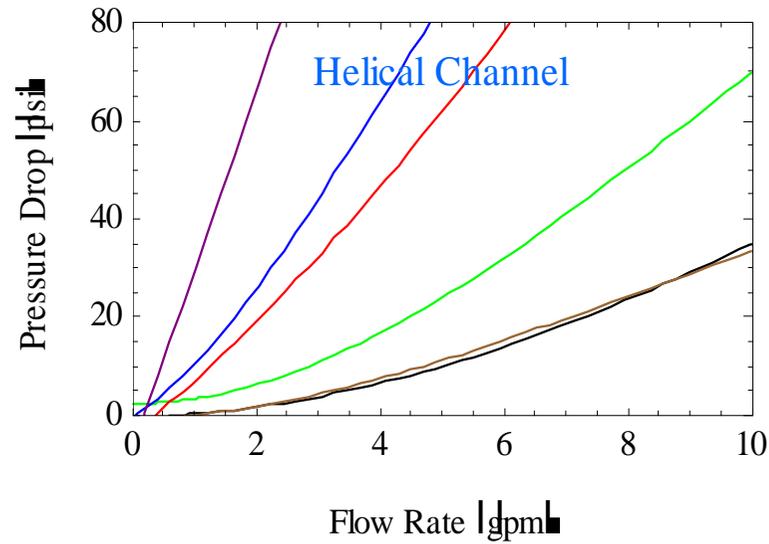
# Разн. давл. и темп. с УКП типа Select – Вода и 11 сП



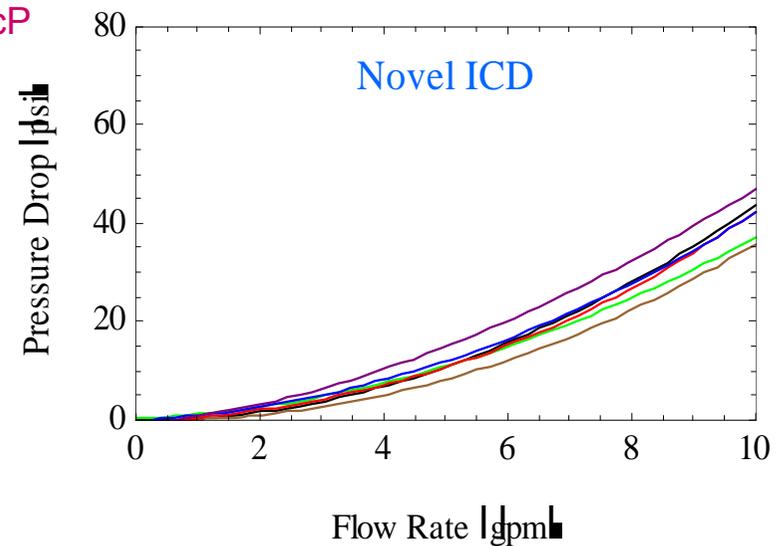
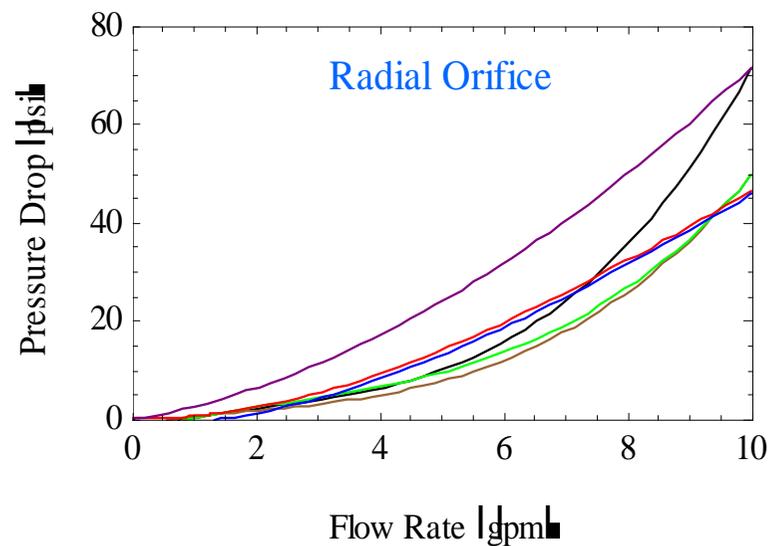
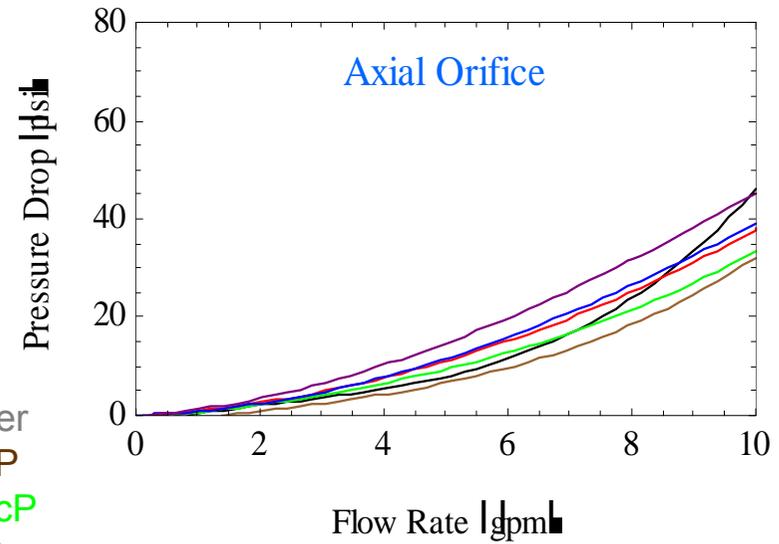
# **УКП**

## **Параметры потока**

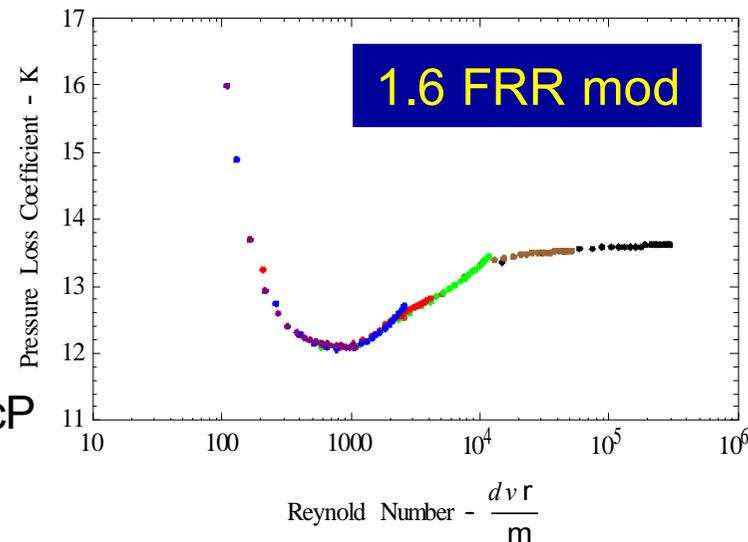
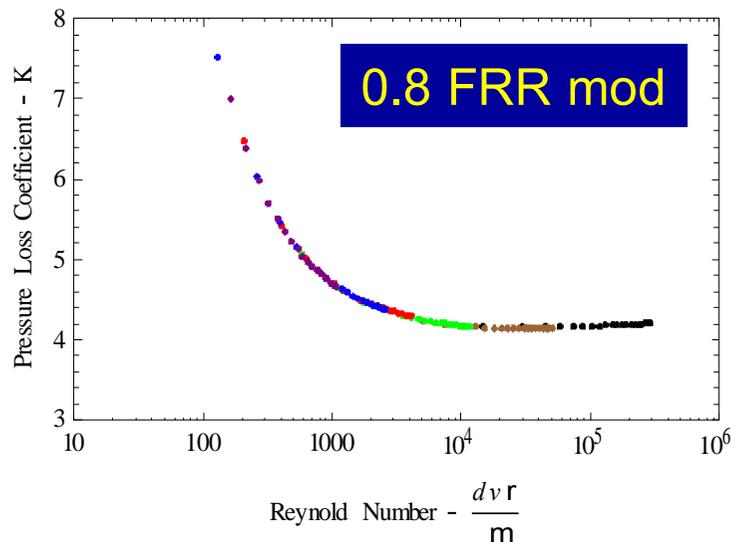
# Падение давления при различных УКП



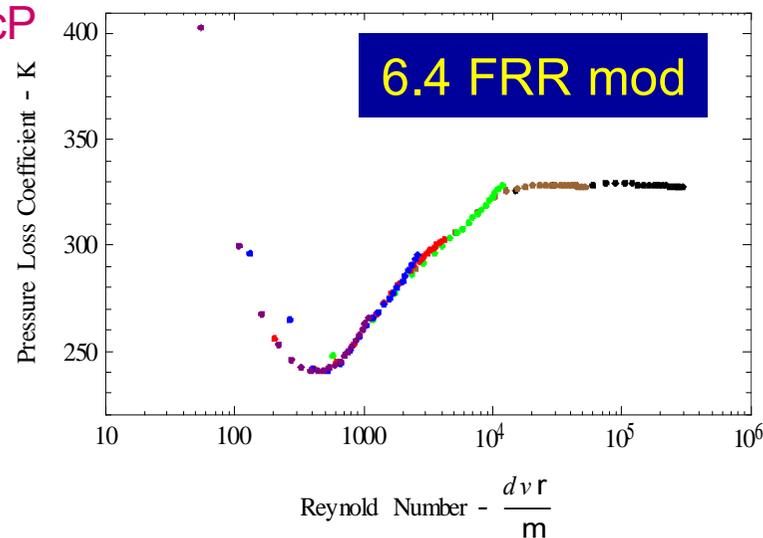
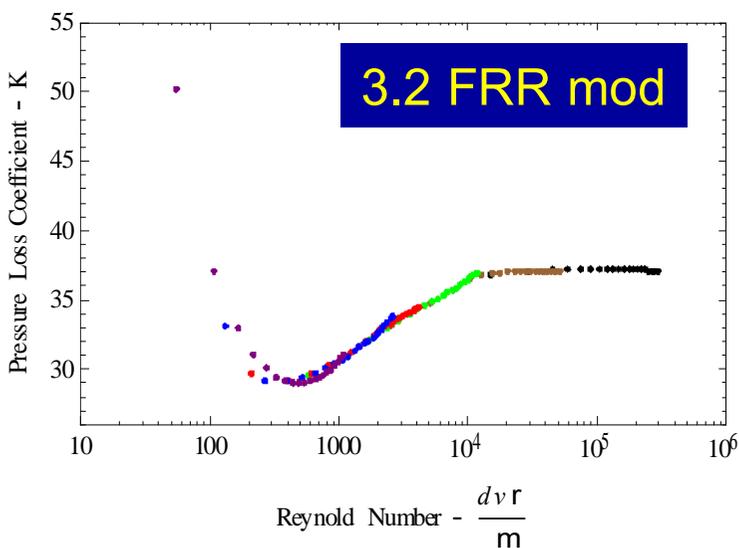
Black – Water  
Brown – 4 cP  
Green – 18 cP  
Red – 53 cP  
Blue – 82 cP  
Purple 200 cP



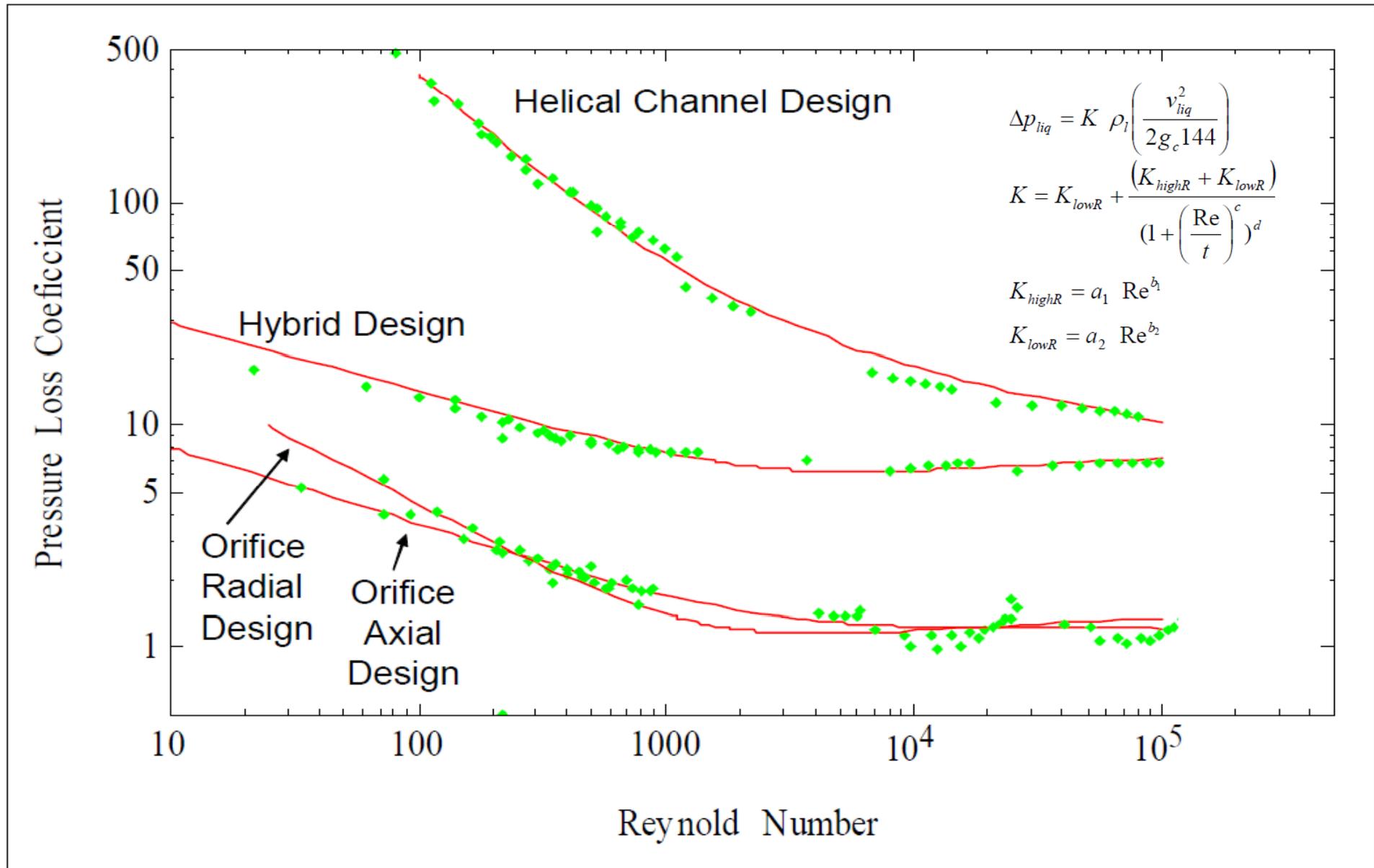
# Параметры притока с регулируемой гибридной конструкцией



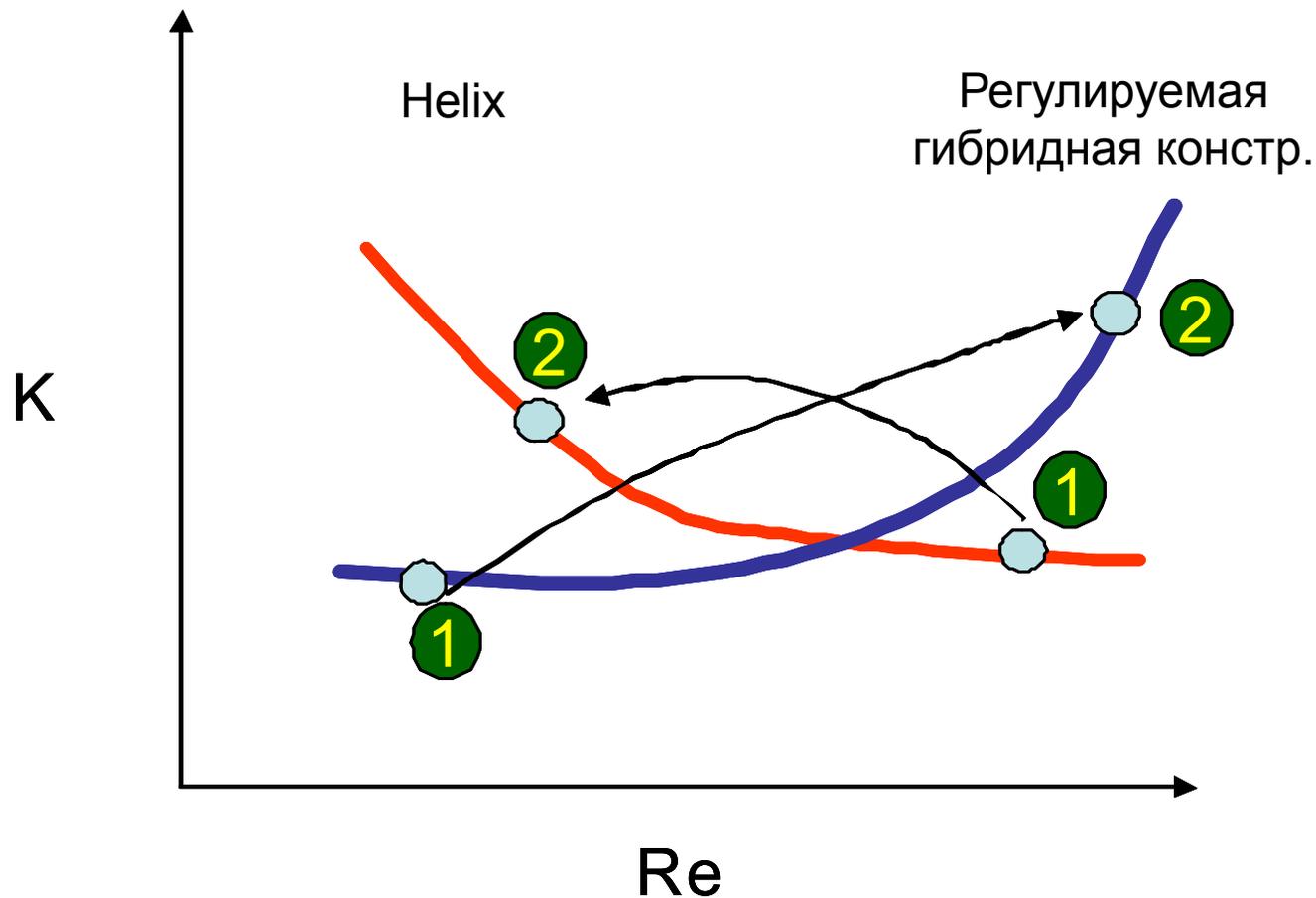
Black – 0.85 cP  
Brown – 4 cP  
Green – 18 cP  
Red – 52 cP  
Blue – 82 cP  
Purple – 200 cP



# Оперативный анализ для определения влияния изменения параметров притока УКП на продуктивность

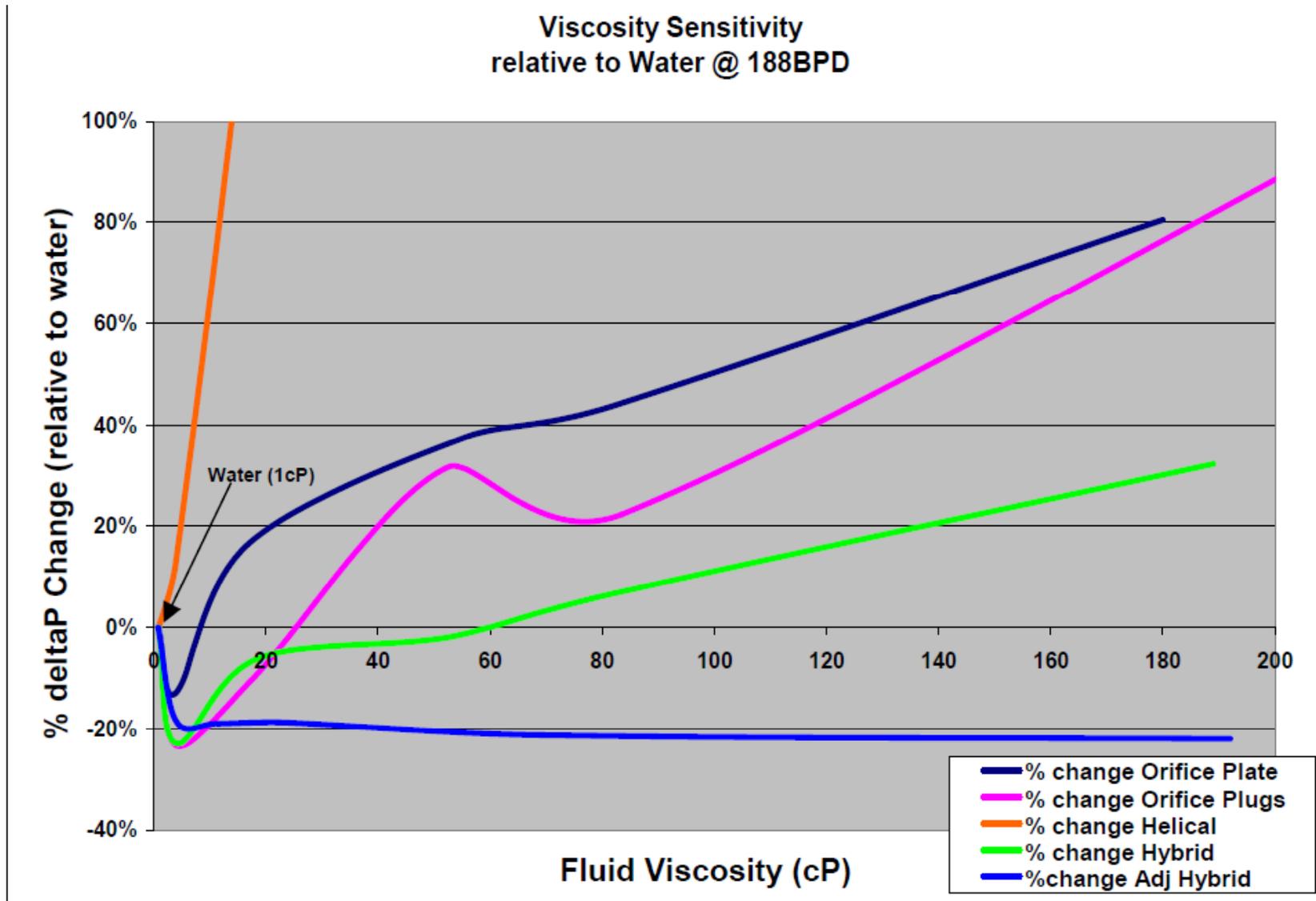


# Выбор подходящего типа УКП на основании ожидаемых характеристик потока



Тип пластового флюида будет определять, какие параметры потока необходимо использовать

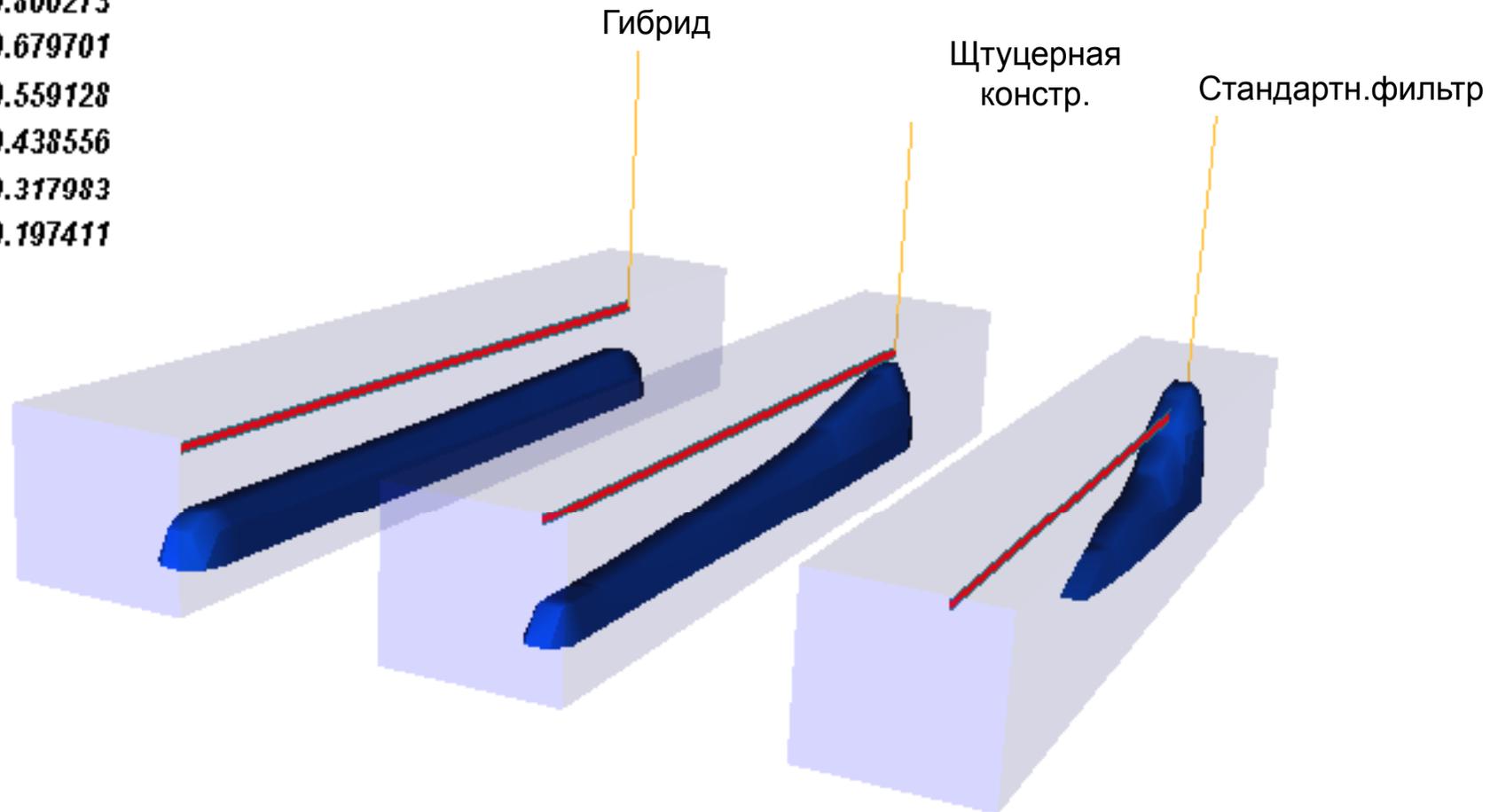
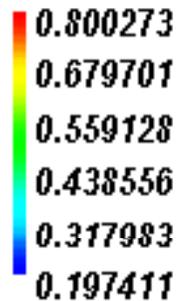
# Результаты испытаний параметров потока УПКП



## Конструкция с низкой скоростью потока в области быстрого потока с целью предотвращения закупоривания и эрозии

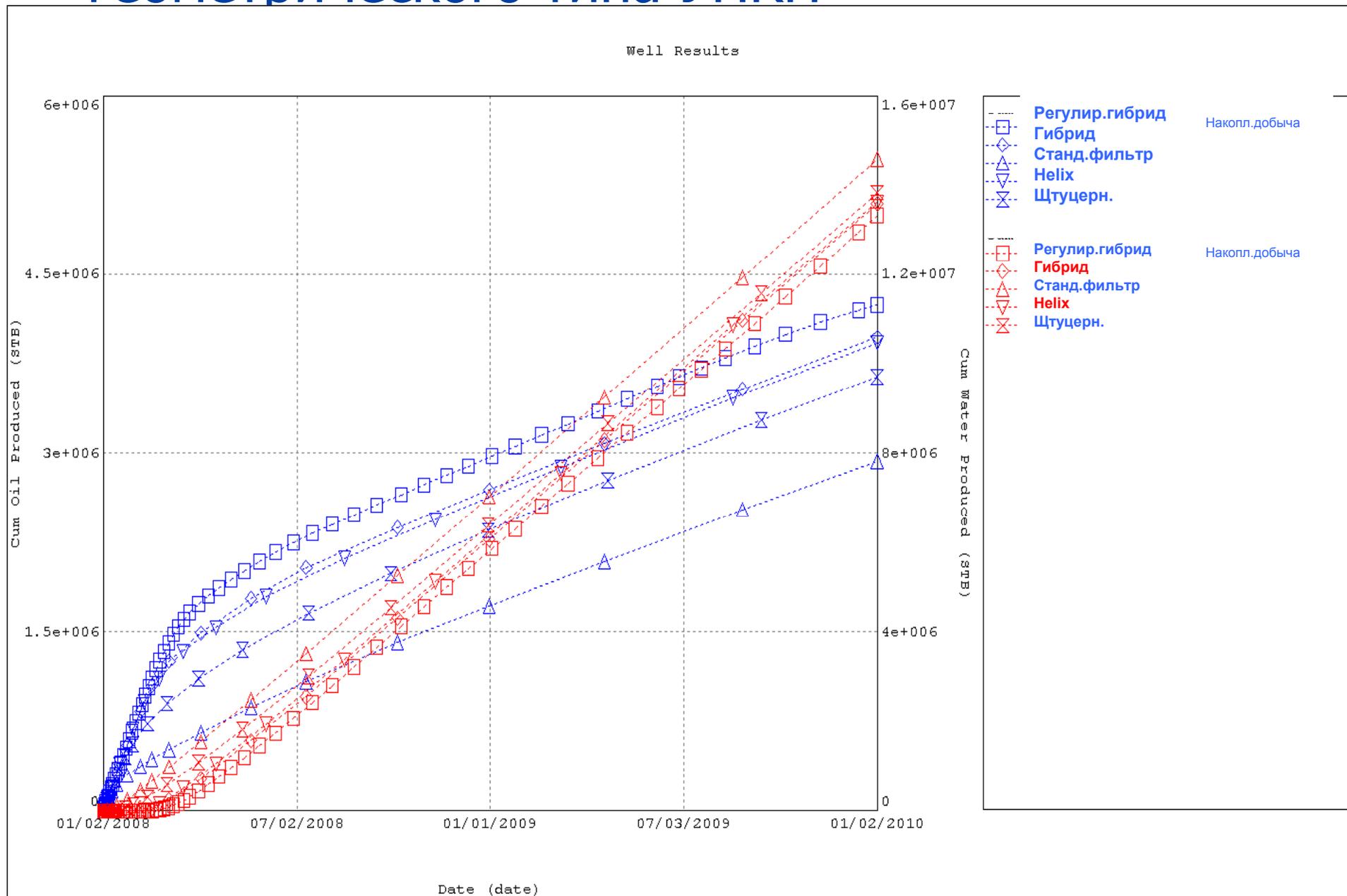
01/17/2008 (16.3555 days)

Water Saturation (fraction)



- Рекомендуется конструкция с едиными или разнообразными настройками?

# Эффективность использования геометрического типа УПКП



# Влияние коэффициента сопротивления потока на параметры потока

02/10/2008 (40.3516 days)

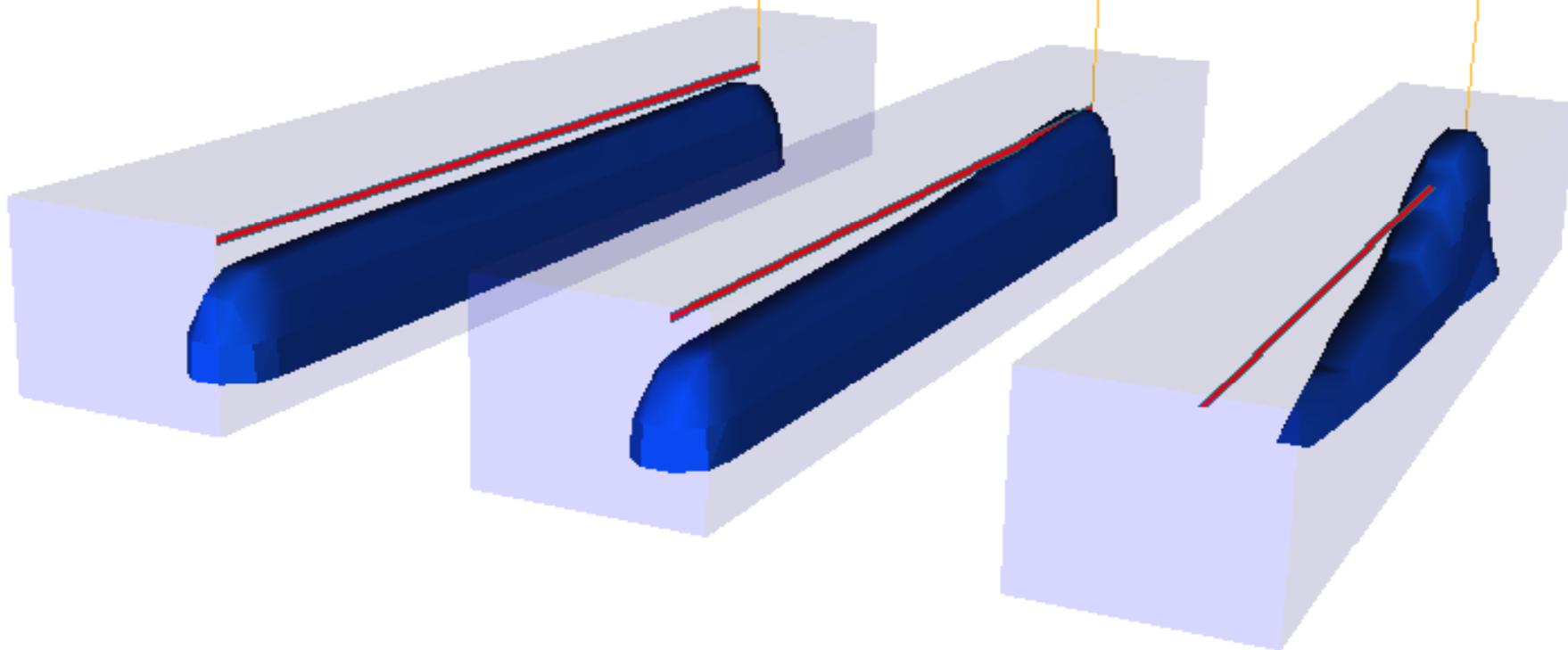
Water Saturation (fraction)



Регулир.гибридная констр.  
6.4 КСП

Регулир.гибридная констр.  
3.2 КСП

Станд.фильтр



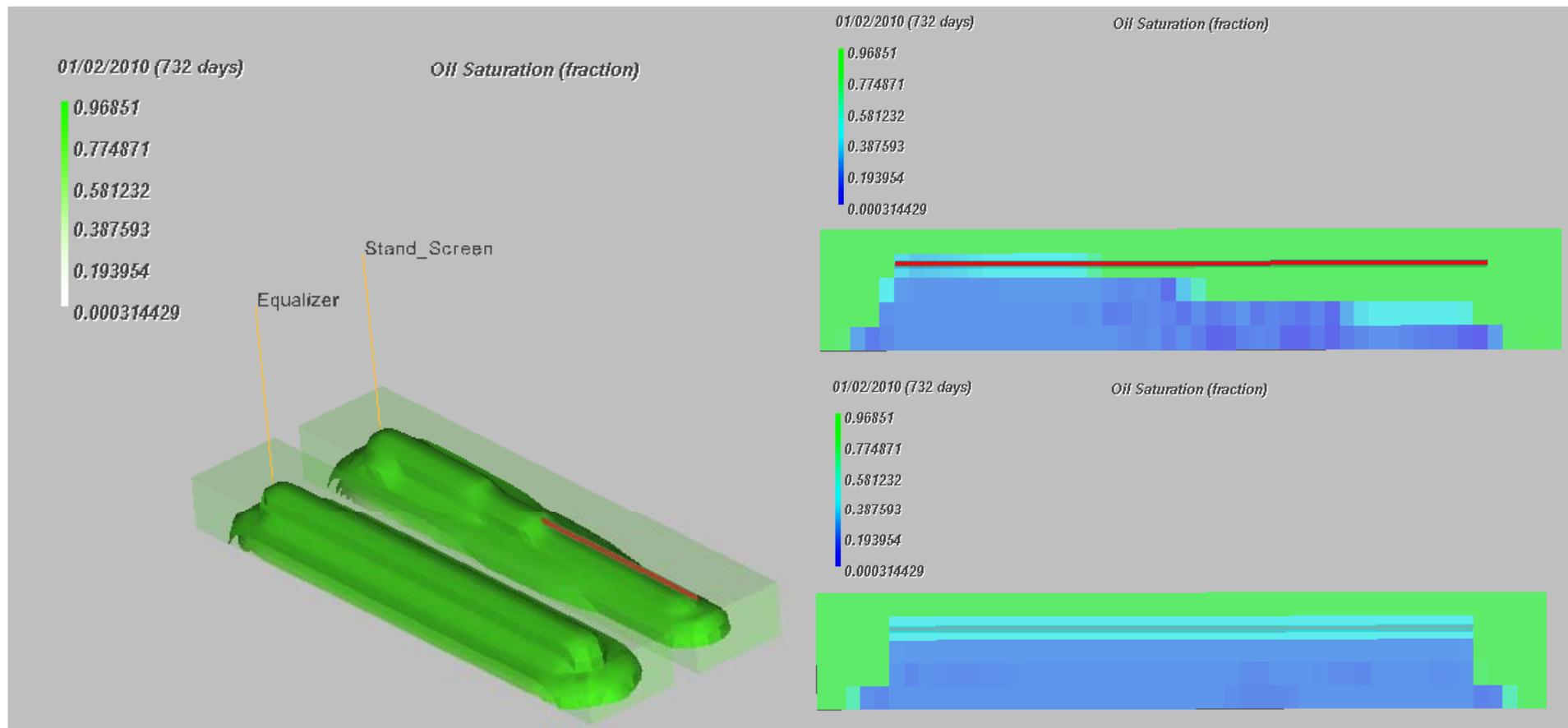
# Применение УКП

# Обзор конструкций заканчивания

- Тип пласта: песчаники и карбонаты
- Тип скважины: добывающая, нагнетательная и шахта-хранилище
- Тип флюида: нефть и газ
- Тип заканчивания: самостоятельный или гравийная набивка
- Одноствольный или многоствольный
- Отклонение ствола: горизонтальное и вертикальное (длинный интервал – контраст мощности и высокой проницаемости)
- Гравитационный дренаж с паровым воздействием

ссылка: SPE124349 “Определение систем заканчивания скважин для УПКП”

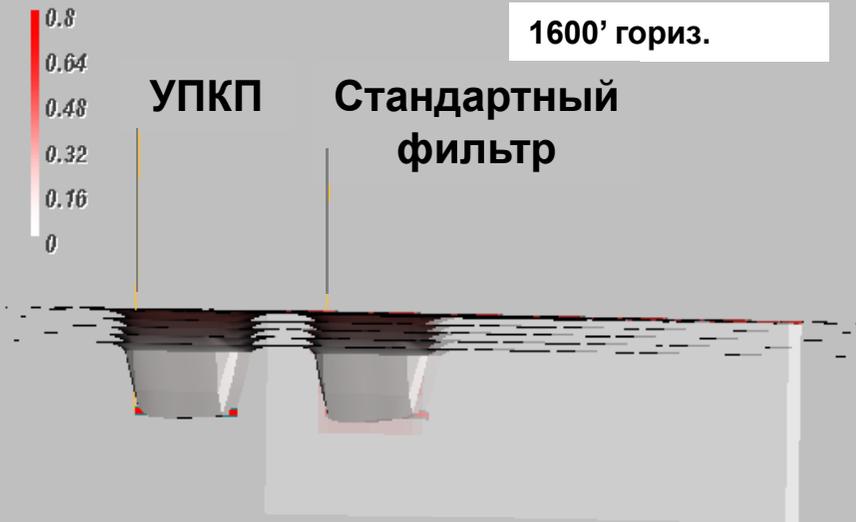
# Один горизонтальный ствол через песчаник – Контроль воды



# Один горизонтальный ствол через песчаник— Контроль воды/газа

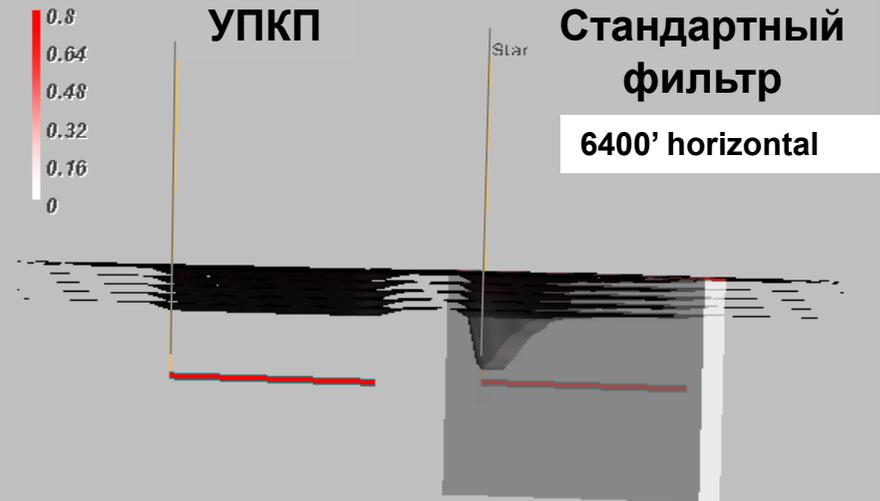
01/30/2010 (29.9609 days)

Gas Saturation (fraction)



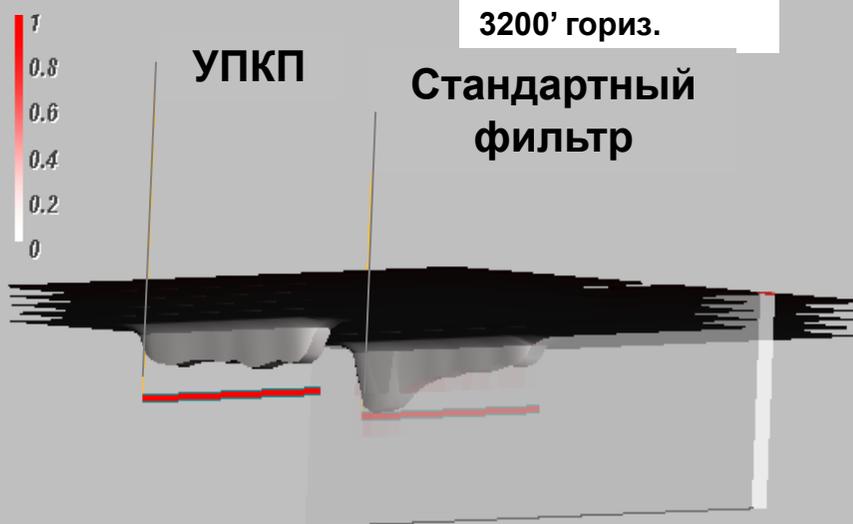
02/09/2010 (39.2695 days)

Gas Saturation (fraction)



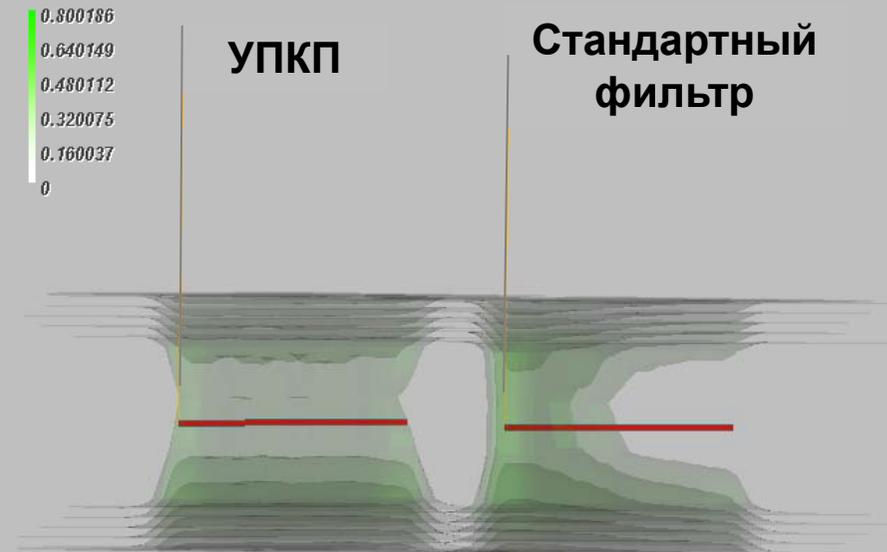
02/07/2010 (37.7891 days)

Gas Saturation (fraction)

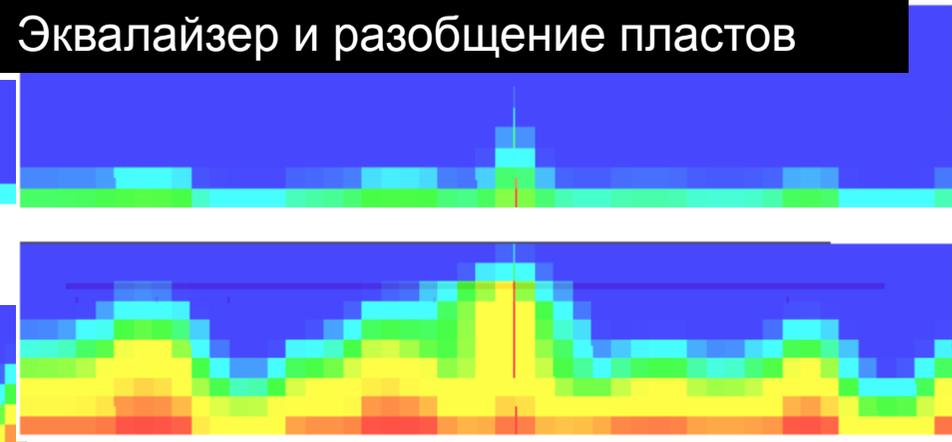
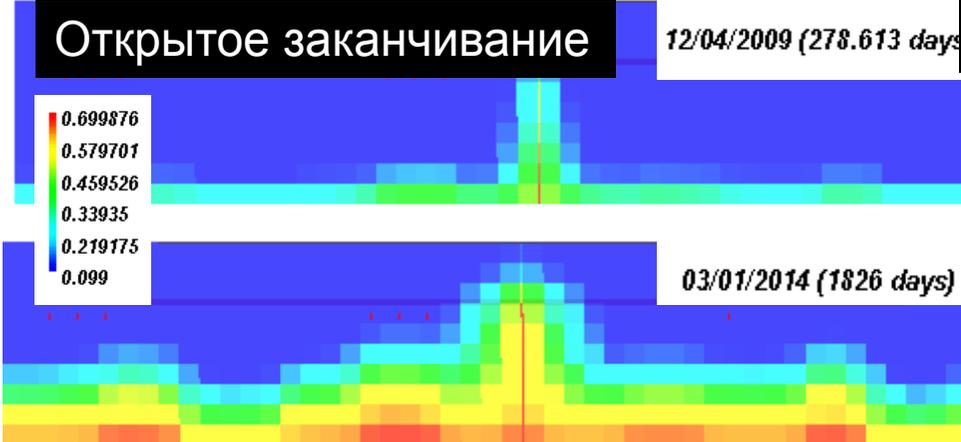
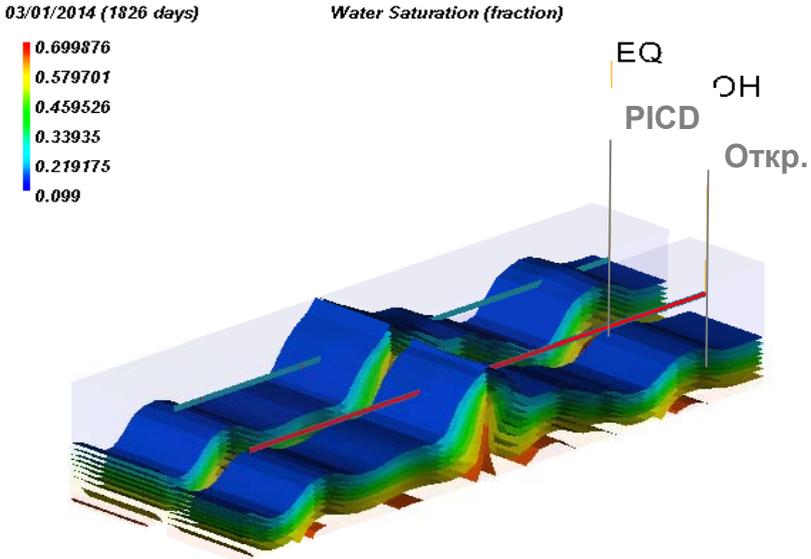
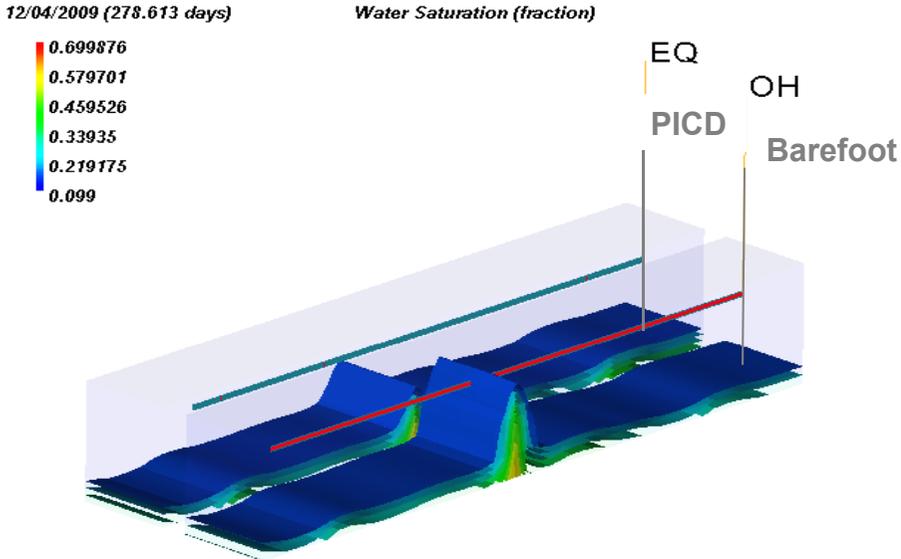


04/11/2010 (100.887 days)

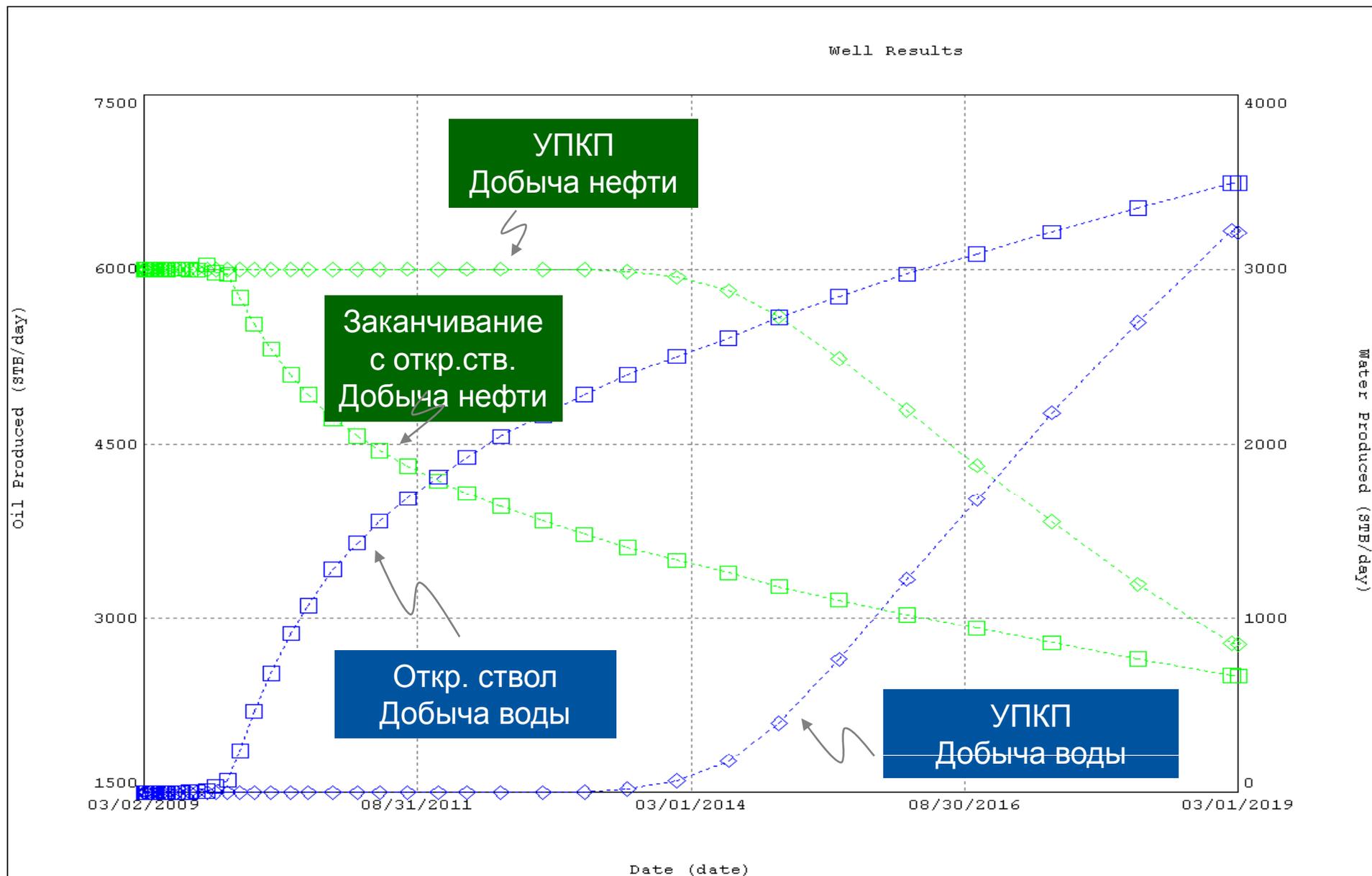
Oil Saturation (fraction)



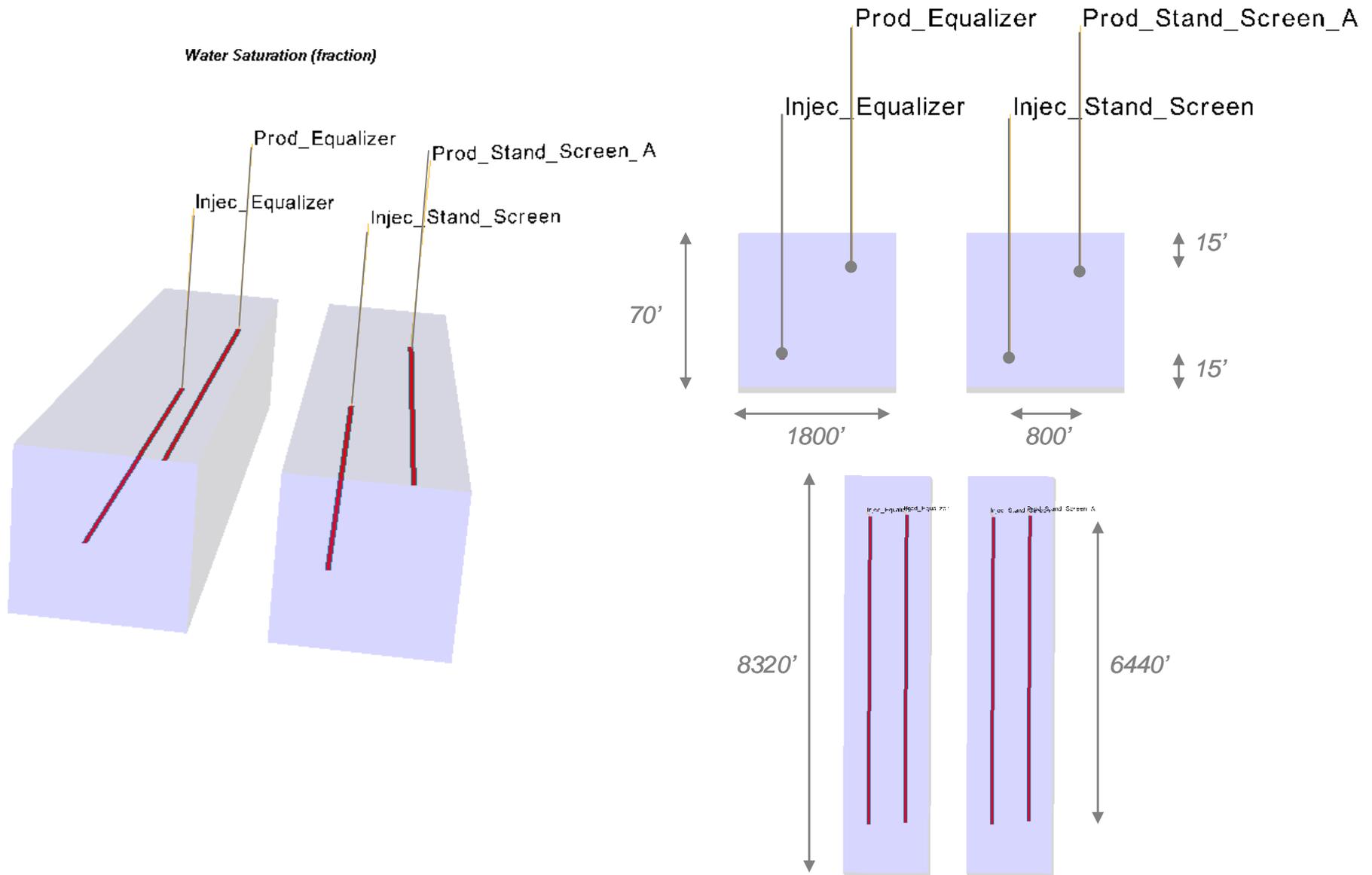
# Один горизонтальный ствол через карбонаты – Одна трещина



# Один горизонтальный ствол через карбонаты – одна трещина



# УПКП в водонагнетательной скважине

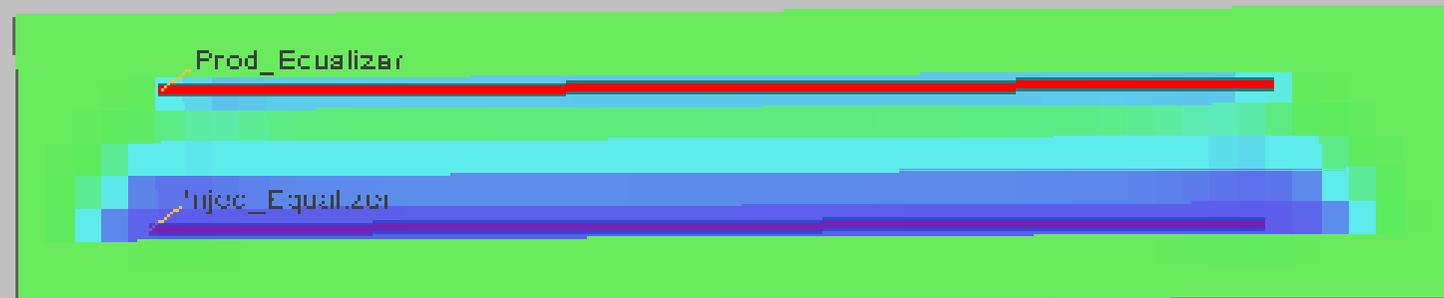
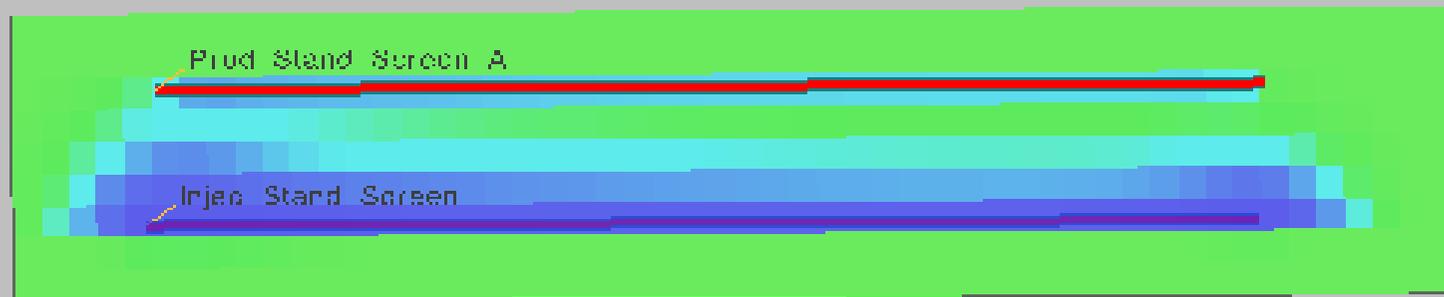


# УПКП в водонагнетательной скважине

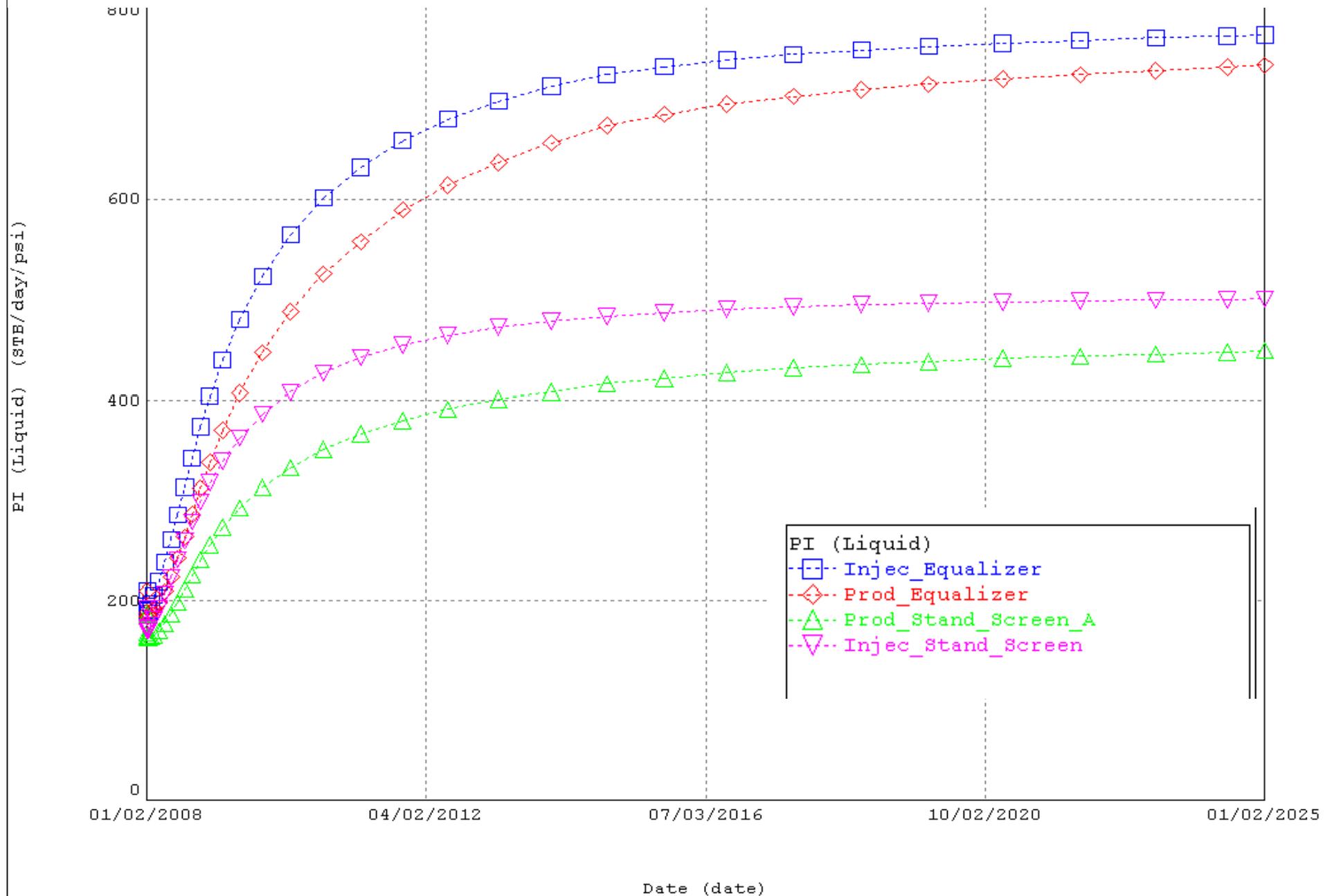
05/31/2009 (516.281 days)

Oil Saturation (fraction)

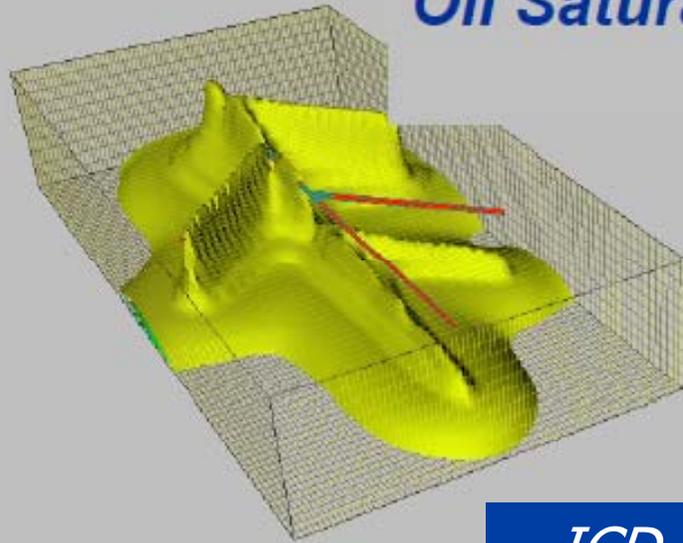
0.808  
0.686323  
0.564646  
0.442969  
0.321292  
0.199616



# Продуктивность скважины и приемистость

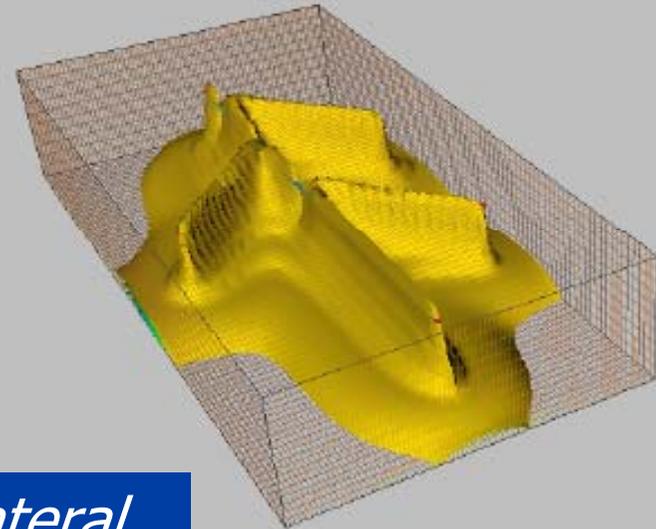


06/29/2008 (180 days)



## Oil Saturation

06/29/2008 (180 days)

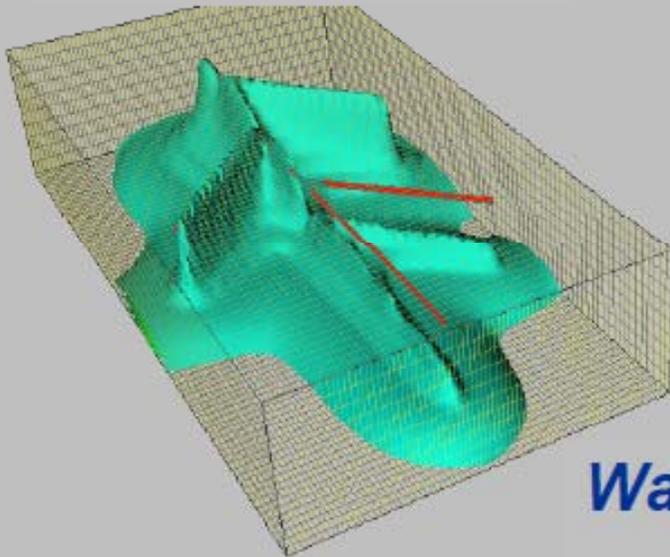


## ICD in Multi-Lateral

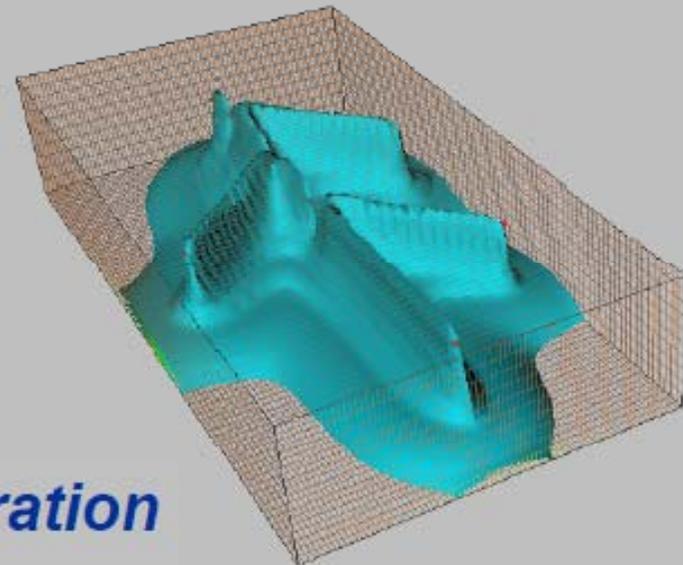
**Standard Screen**

**PICD**

06/29/2008

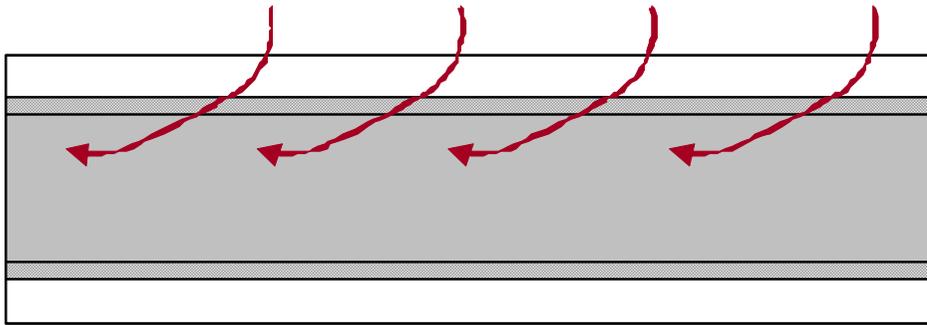


06/29/2008 (180 days)

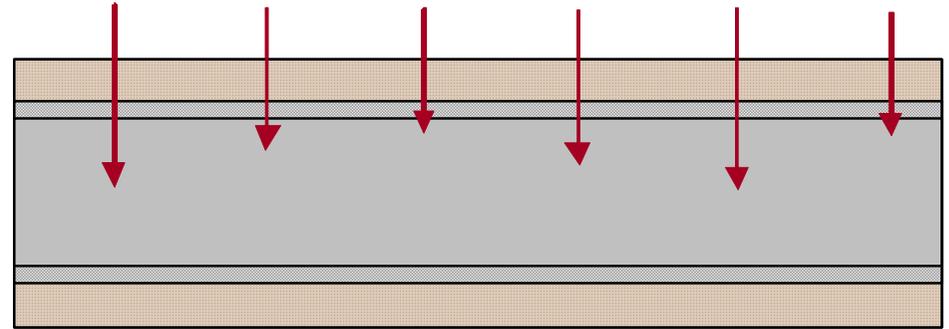


**Water Saturation**

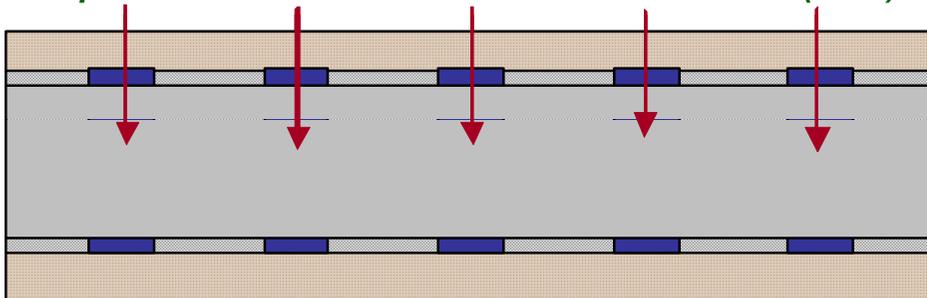
# УКП как метод восстановления



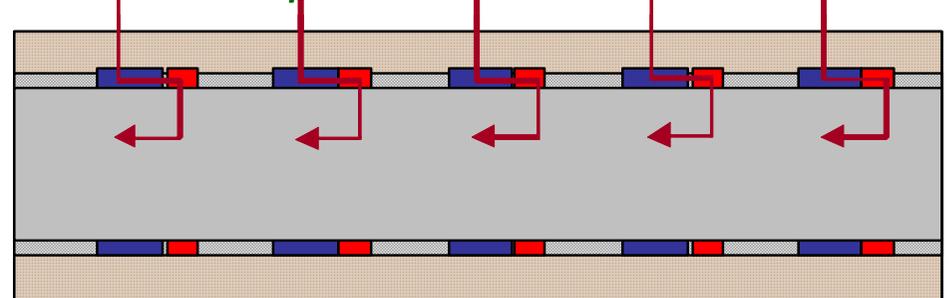
*Open annulus - standard screen (SS)*



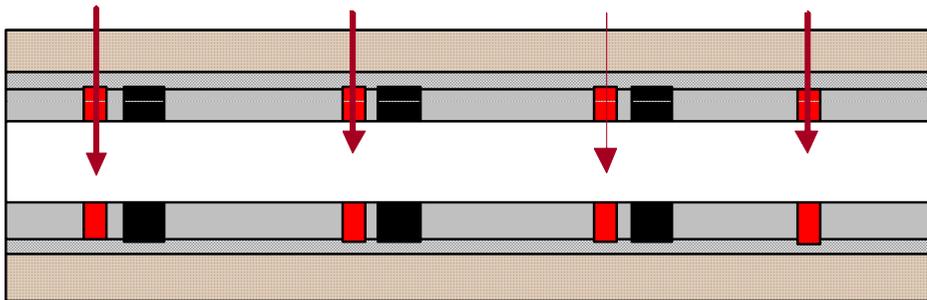
*Gravel pack - standard screen*



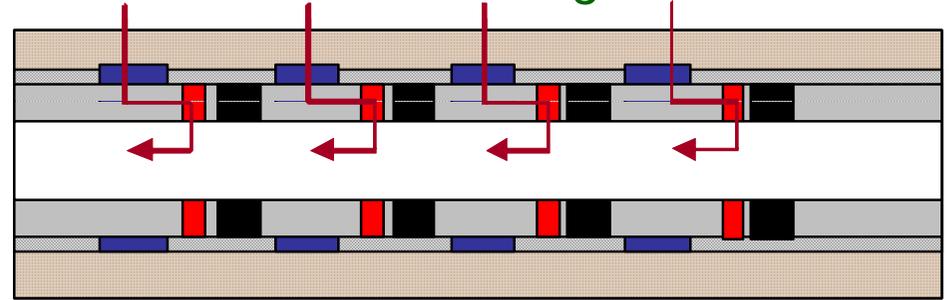
*Gravel pack (GP) - ICD Completions*



*GP ICD & Sliding Sleeve*

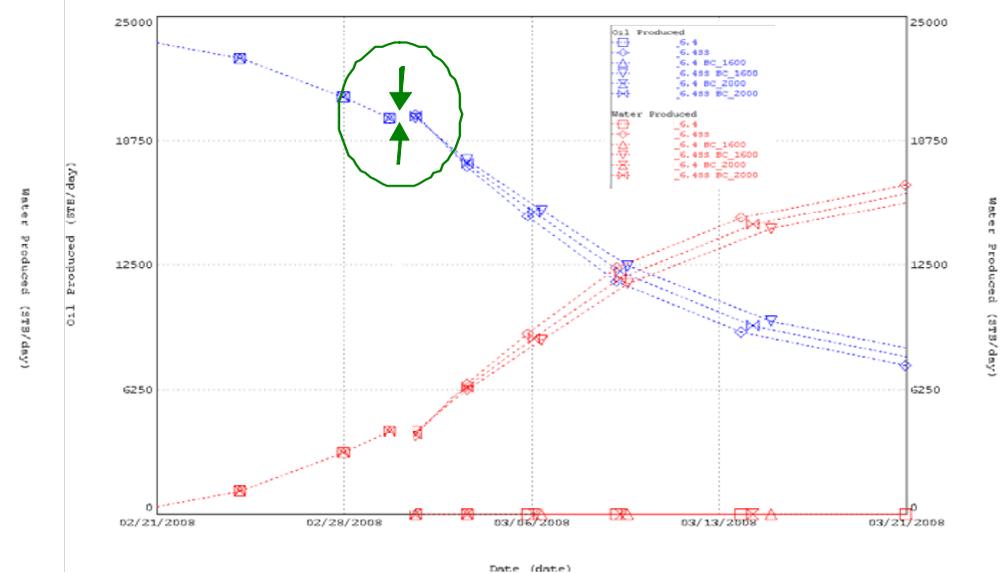
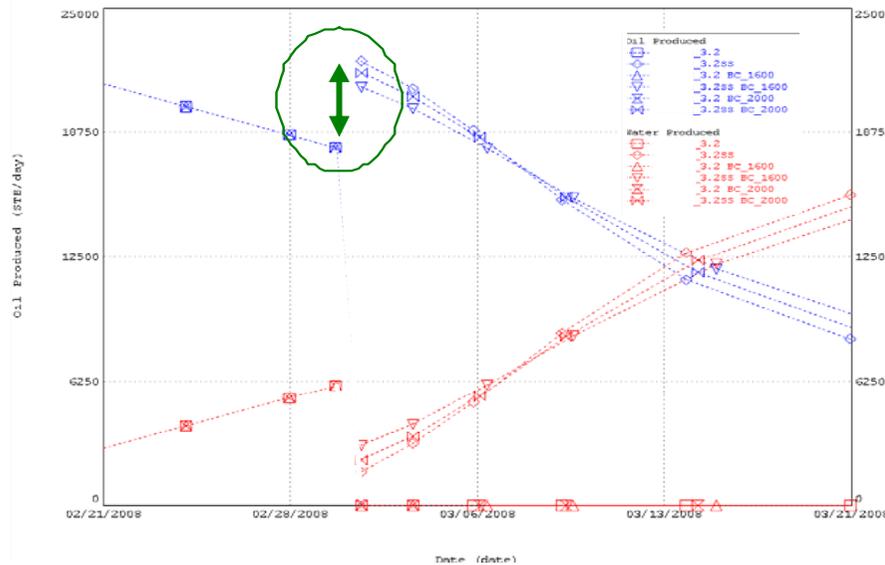
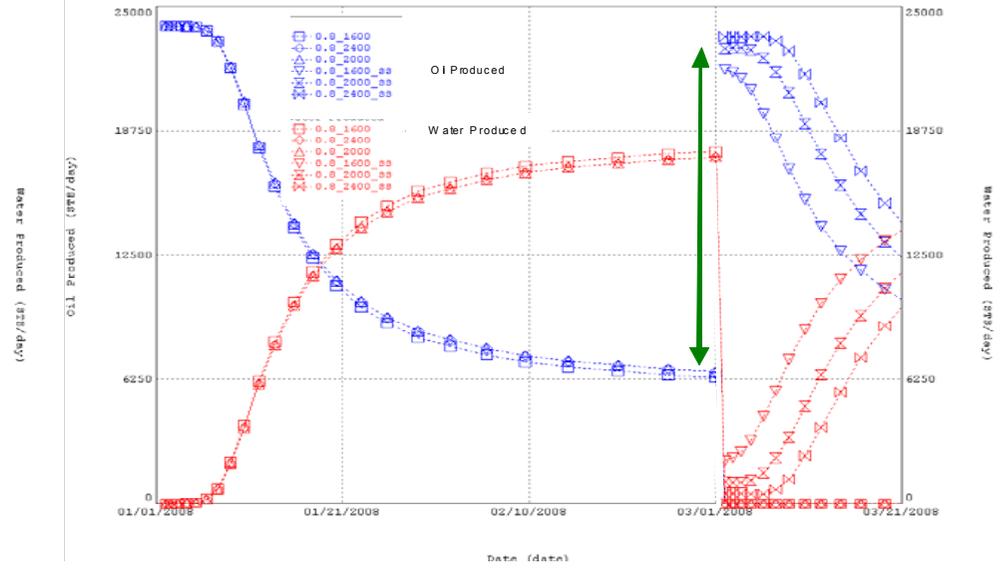
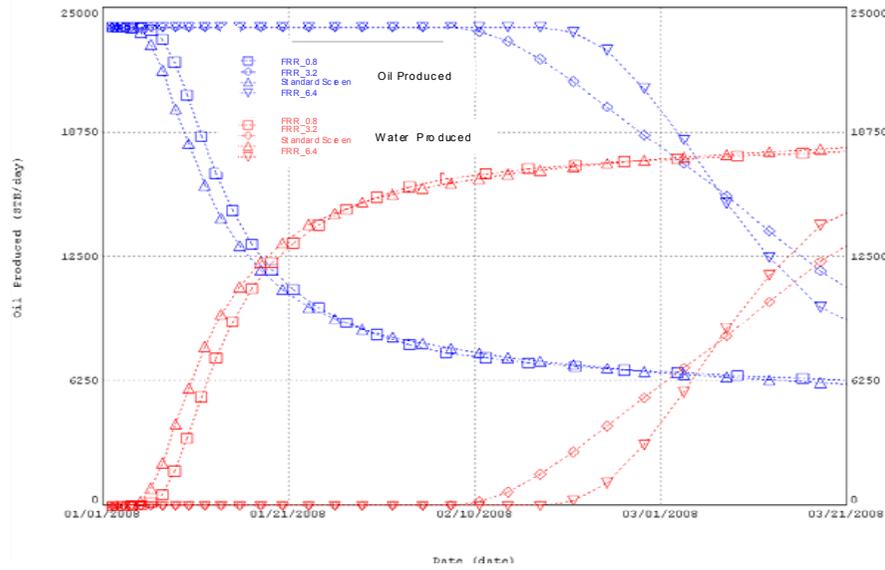


*GP SS & Sliding Sleeve with Zone Isolation*



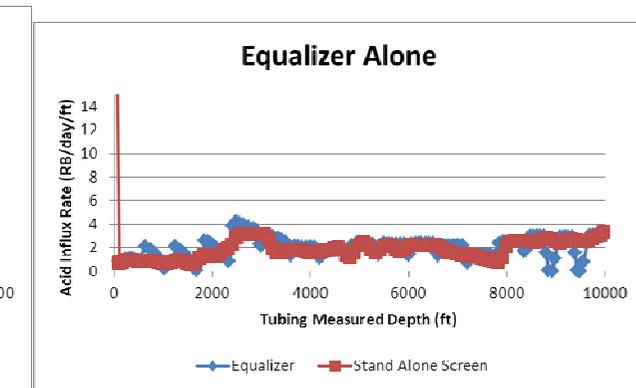
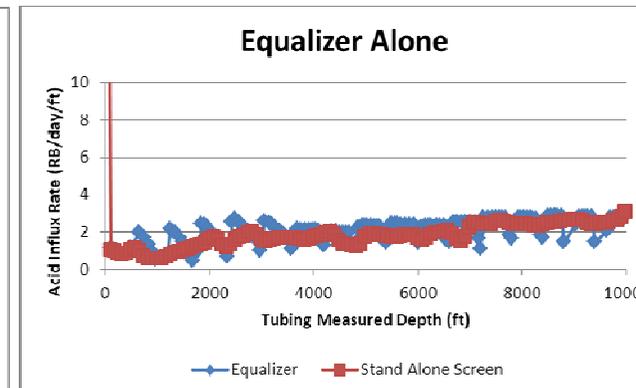
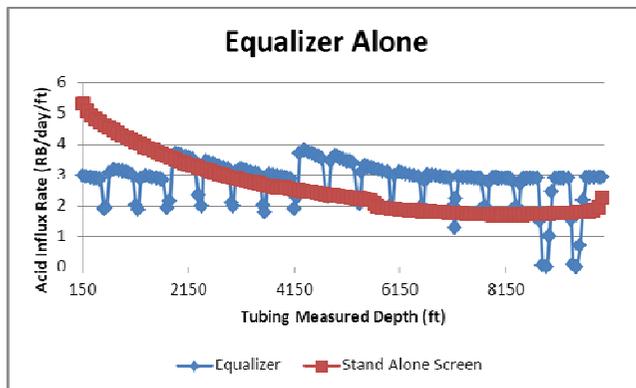
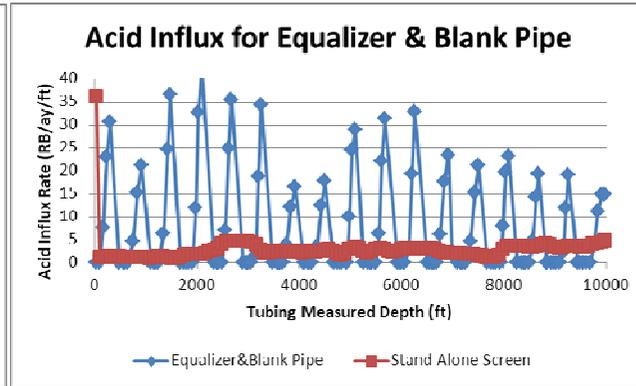
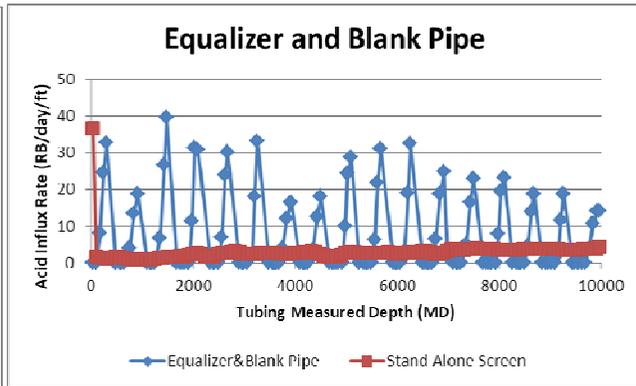
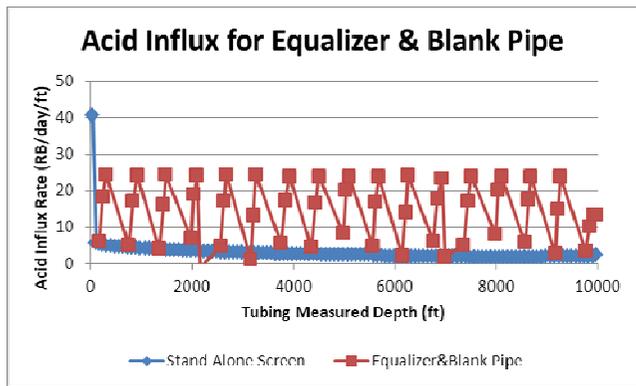
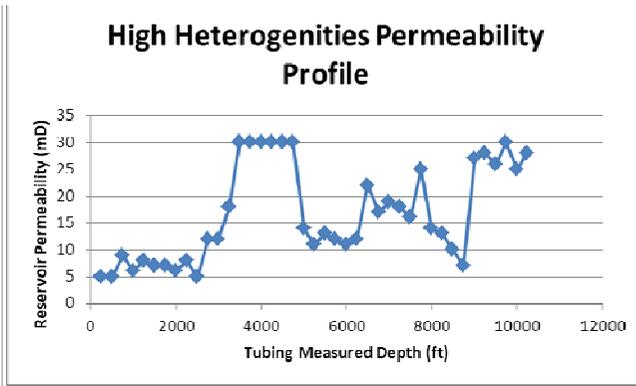
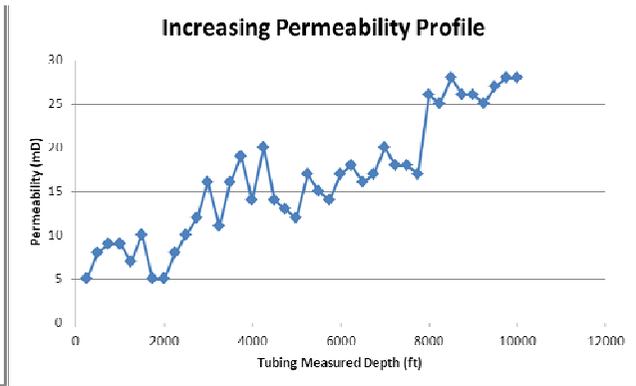
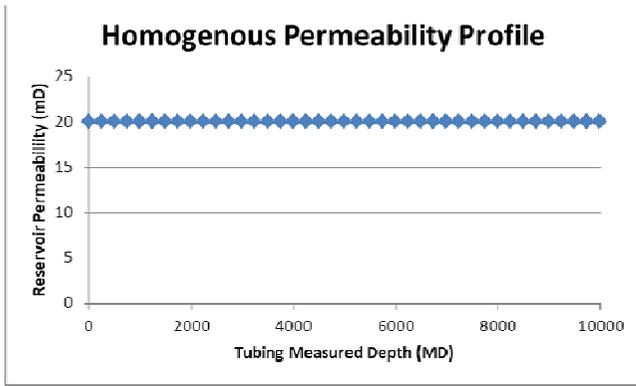
*GP ICD & Sliding Sleeve with Zone Isolation*

# Механическое перекрытие, обеспечиваемое системой заканчивания с использованием УКП с учетом различных коэффициентов сопротивления и протяженностей изолированных зон



# Моделирование кислотной обработки /Добыча с Reveal™

- Дебит закачки кислотной эмульсии 3.2 м<sup>3</sup>/мин.
- Два варианта боковой конструкции:
  - 100 соединений УКП с глухой трубой
  - 250 соединений УКП
- Исследовано три профиля проницаемости:
  - Вариант с однородностью пласта
  - Постепенное увеличение проницаемости
  - Высокая степень неоднородности



## Наблюдаемые тенденции

- Без УКП легко закачать избыточные объемы в участке набора (в 12 раз больше, чем в районе окончания горизонтального участка) и в районы высокой проницаемости
- Использование УКП позволяет добиться равномерного распределения кислотной эмульсии по боковому стволу при расходе насоса 20 барр.в мин. (3.2м<sup>3</sup>/мин)
- Более высокие объемы закачки при использовании глухой трубы
- Применение УКП позволяет добиться пассивного снижения неоднородностей по проницаемости

# Вопросы ?

