

Гидродинамическое моделирование с помощью ECLIPSE Blackoil

Введение в моделирование ECLIPSE

Что такое гидродинамическое моделирование?

Используемая физика

- Закон Дарси (без гравитационной составляющей)

$$q = -\frac{k}{\mu} \nabla P$$

- Уравнение материального баланса

$$\begin{aligned} \text{ВТЕКАЮЩАЯ МАССА} - \text{ВЫТЕКАЮЩАЯ МАССА} \\ = \\ \text{НАКОПЛЕННАЯ МАССА} \end{aligned}$$

Модель скважины

$$q_{p,j} = T_{wj} M_{p,j} (P_j - P_w - H_{wj})$$

Приток фаза, соединение \rightarrow $q_{p,j}$
 Узловое давление соединение - ВНР - Н от соедин до опорной глуб \rightarrow $(P_j - P_w - H_{wj})$
 Подвижность фаза, соединение \rightarrow $M_{p,j}$

Проводимость соединение

$$T_{wj} = \frac{cKh}{\ln(r_o/r_w) + S}$$

$$M_{o,j} = \frac{k_{o,j}}{\beta_{o,j} \cdot \mu_{o,j}} + R_v \frac{k_{g,j}}{\beta_{g,j} \cdot \mu_{g,j}}$$

$$M_{g,j} = \frac{k_{g,j}}{\beta_{g,j} \cdot \mu_{g,j}} + R_s \frac{k_{o,j}}{\beta_{o,j} \cdot \mu_{o,j}}$$

Модели нелетучей нефти и композиционная

Симуляторы для модели нелетучей нефти (ECLIPSE Blackoil)

- Нефтяная и газовая фазы представлены 'одним компонентом'
- Предполагается, что состав компонентов не изменяется во времени и от давления

Симуляторы для композиционной модели (ECLIPSE Compositional)

- Нефтяная и газовая фазы представляются как многокомпонентные смеси
- Предполагается, что свойства пластовых флюидов при всех температурах, давлениях, составах и времени могут быть представлены уравнением состояния



Базисные шаги гидродинамического моделирования

- Пласт представляется в виде ячеек
- Для каждой ячейки вносятся необходимые данные
- Скважины располагаются внутри ячеек
- Задаются дебиты скважин как функции от времени
- Для определения давления и насыщенностей для каждой ячейки, а также добычи для каждой скважины по каждой фазе, для каждого момента времени решается система дифференциальных уравнений

Потоки в модели

- Поток из одной ячейки в другую
- Поток из ячейки в скважину
- Поток внутри скважин (и наземные сети)

Поток = Проводимость • Подвижность • Депрессия



Результаты зависят от качества входных данных

- Недостаток данных
 - большое количество экстраполяций
- Погрешности измерений
- Сложность пласта
 - неоднородность
- Пригодность
 - непрерывная система представляется дискретной численной аппроксимацией

Решаемые задачи

Оценка объектов:

- Аккуратное определение извлекаемых запасов

Управление объектом:

- Выбор самого экономичного способа перфорации, схемы размещения скважин, числа пробуриваемых скважин и объемов нагнетания

Управление неопределенностями:

- Оценка эффектов раннего прорыва воды или конусообразования

Почему ECLIPSE?

- Стандартный симулятор для модели нелетучей нефти
- Может моделировать практически все варианты разработки месторождения
- Надежный, аккуратный, легкий в использовании
- Постоянное развитие продукта
- Интегрирован с большинством геологических пакетов
- Техническая поддержка

ECLIPSE Blackoil Основные Опции

Мультиплатформенная поддержка

PC (Windows & Linux), IBM, Sun, SGI

Геометрические опции

- Угловой точки, блочно-центрированная геометрия и PEVI
- Измельчение сетки

Опции течения флюида

- Масштабирование конечных точек
- Дренирование и пропитка, гистерезис

Характеристики скважины

- Автоматический ремонт и бурение скважин
- Установление очередности
- Задание ограничений по месторождению
- Экономические ограничения
- Изменение работы скважин по условиям

ECLIPSE Blackoil Дополнительные Лицензии

- Оптимизация газлифта
- Опция распараллеливания
- Граничные условия
- Многосегментные скважины
- Наземное оборудование (сети)
- Множественные реализации
- Угольный метан
- Псевдо-композиционное моделирование
- Соединение моделей
- Индикаторы
- Пена, растворители, полимеры и ПАВ
- Хранение CO₂

ECLIPSE Model: *.DATA

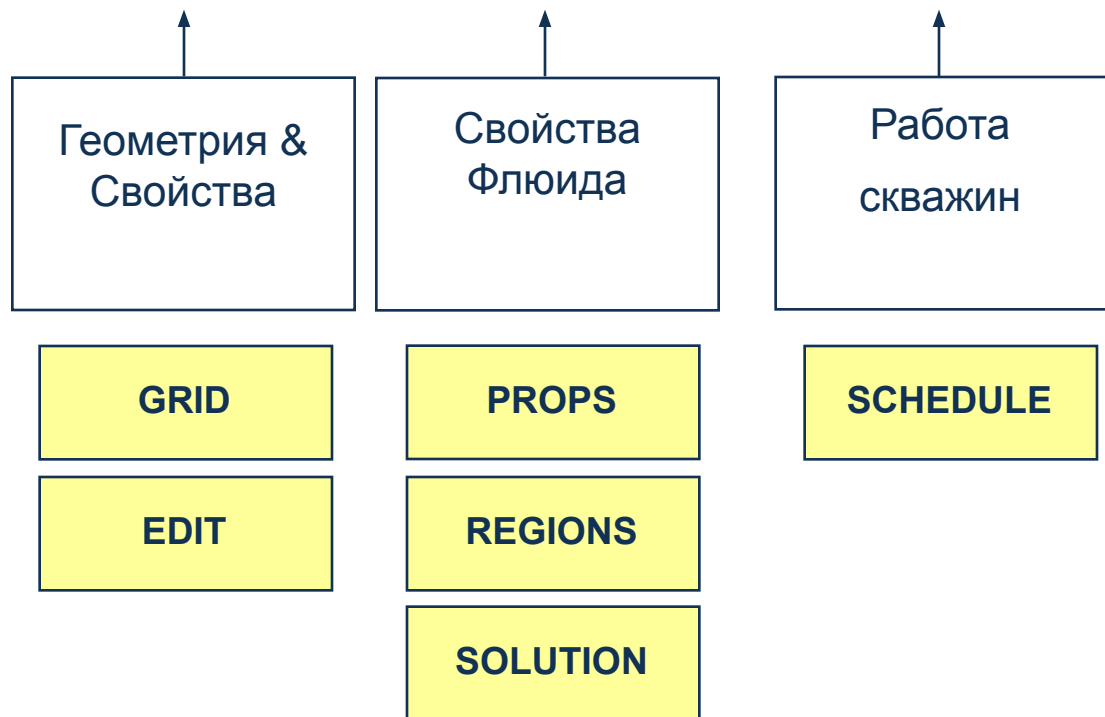
RUNSPEC	Основные характеристики модели
GRID	Геометрия сетки и основные свойства породы
EDIT	Модификация данных геометрии сетки секции GRID (опциональная секция)
PROPS	PVT и SCAL свойства
REGIONS	Разделение месторождения на регионы (опциональная секция)
SOLUTION	Инициализация модели
SUMMARY	Запрос выходных данных (опциональная секция)
SCHEDULE	Данные по скважинам, заканчиваниям, наземному оборудованию, дебитам

Как работает ECLIPSE

- Каждая секция файла данных прочитывается, обрабатывается, выполняется проверка на соответствие, требуемая информация записывается в различные файлы вывода (например, *PRT)
 - RUNSPEC: используется для распределения динамической памяти
 - SCHEDULE: Данные зависящие от времени читаются и обрабатываются для каждого временного шага

Каким образом секции ECLIPSE связаны с уравнением

Поток = Проводимость • Подвижность • Депрессия



Example of a Data File



DATA File

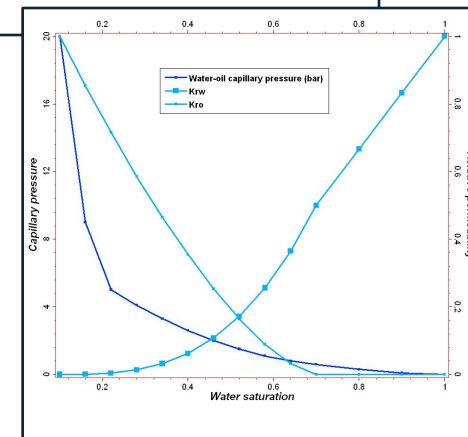
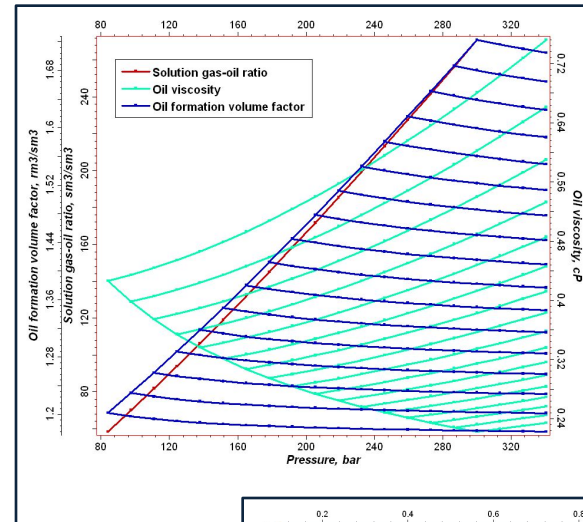
Физ-хим свойства и свойства породы

PVT: Физ-хим свойства флюида

- Описание поведения фаз пластовых флюидов при различных давлениях

SCAL: Свойства породы

- Описание поведения движения пластовых флюидов
- Описание переходной зоны



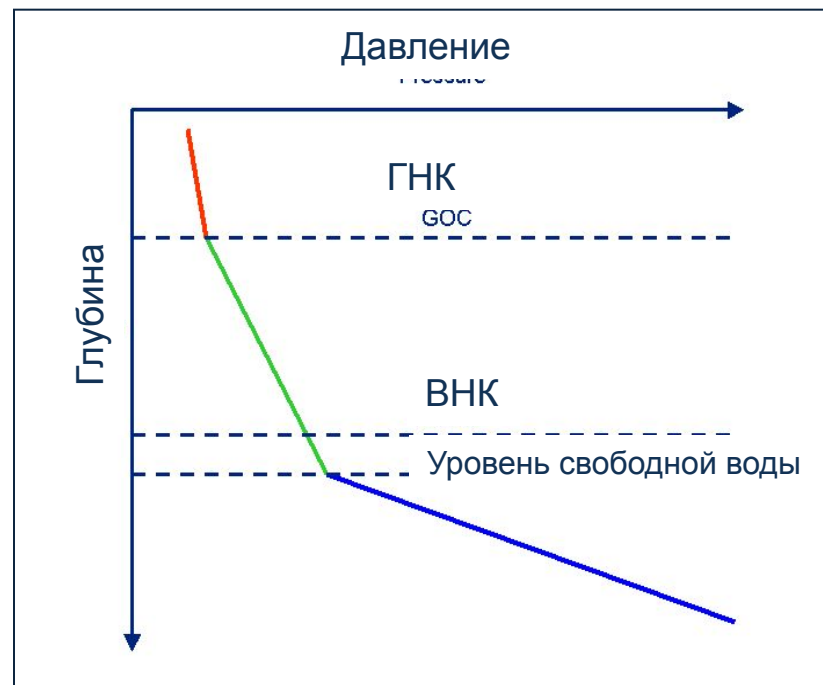
Данные для инициализации

Балансировка

- Определить начальную насыщенность каждой фазы и градиенты давлений на основании глубин контактов
- ECLIPSE рассчитывает насыщенность и давления в предположении равновесия

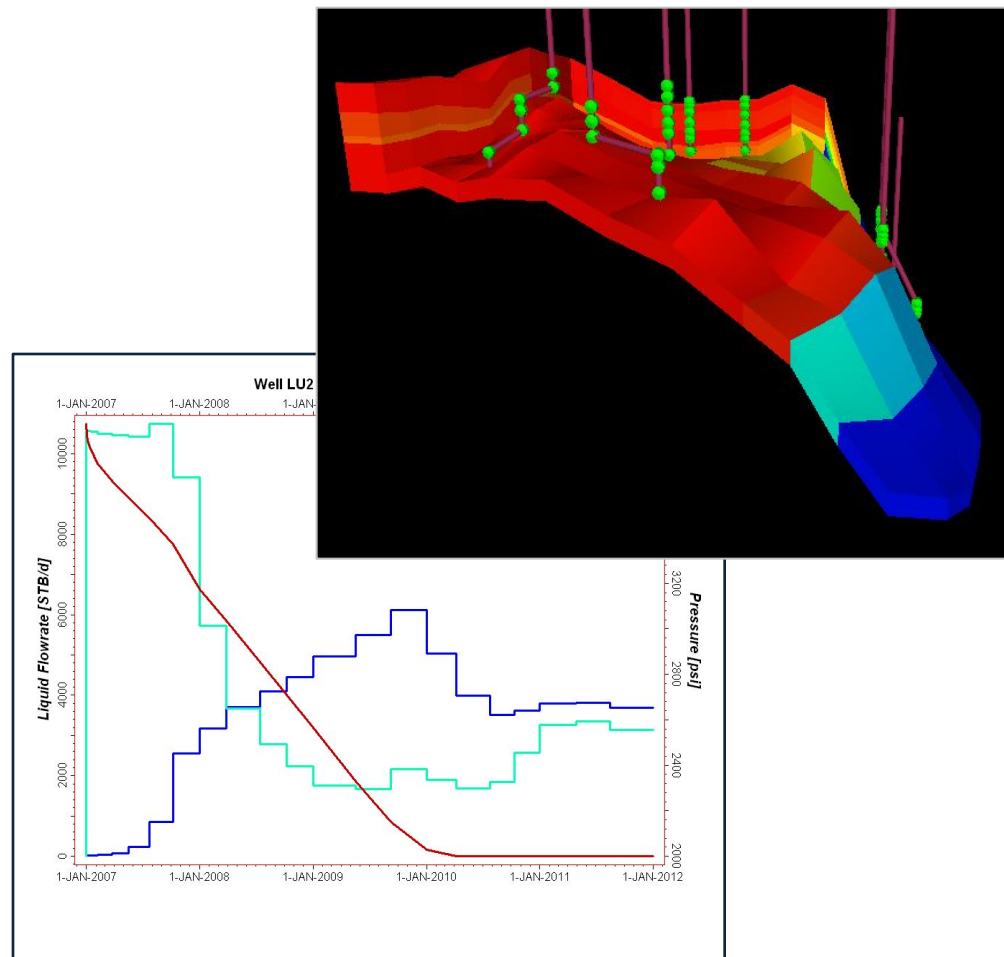
Перечисление

- Явное задание начальных насыщенности и давления в каждой ячейке



Данные по скважинам

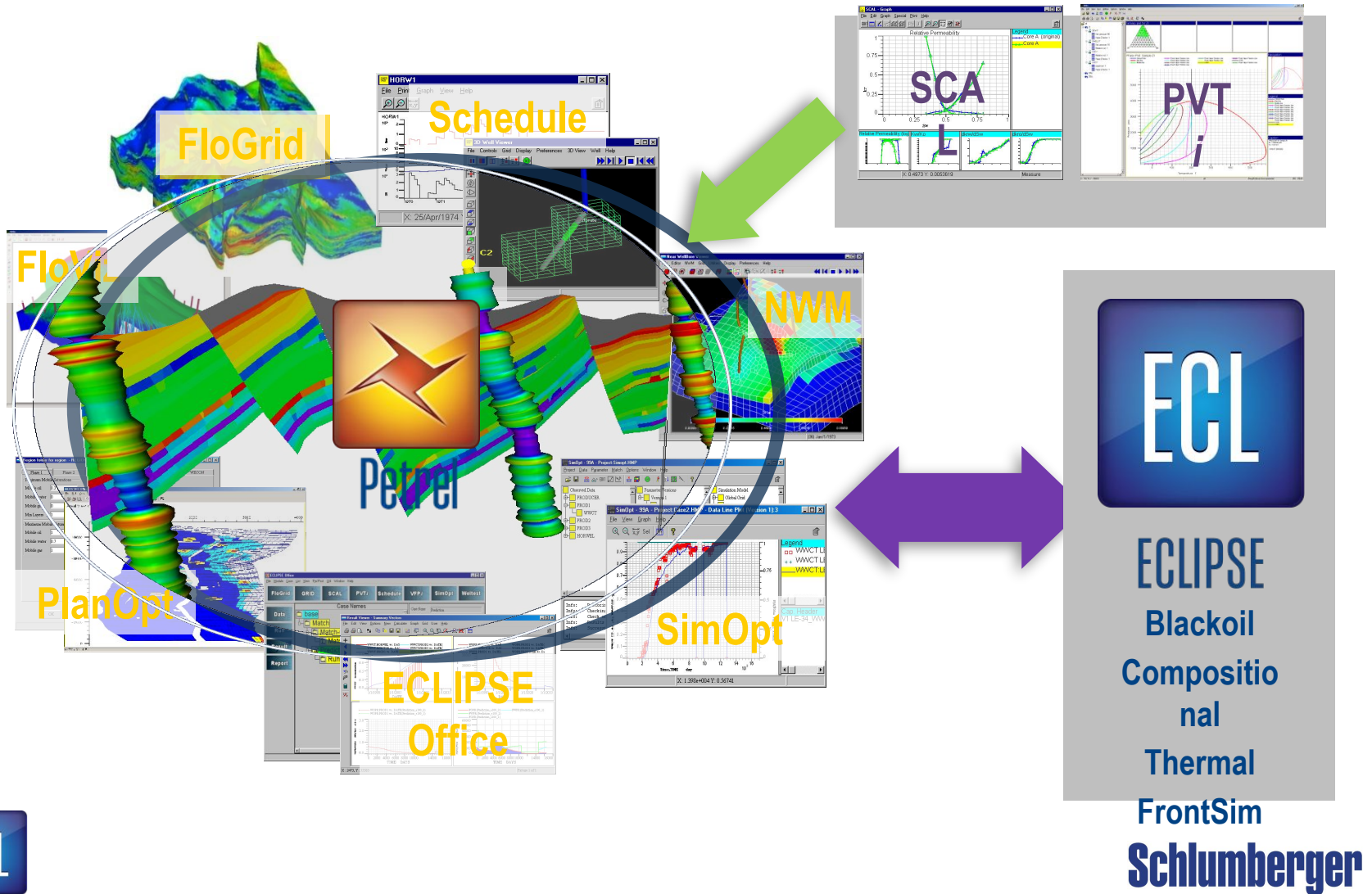
- Расположение скважин
- Данные по заканчиванию скважин
- Исторические дебиты добычи/закачки
- Ограничения по дебитам скважин или групп
- Новые скважины
- Очередность бурения



Гидродинамическое моделирование с помощью ECLIPSE

1. Постановка четкой цели ← **Очень важно**
2. Сбор и проверка данных
3. **Построение моделей** → *Старайтесь делать модель проще*
Создавайте небольшие модели, чтобы понять процессы, происходящие в пласте
4. Задание скважин
5. Задание исторических дебитов скважин
6. **Настройка модели на историю разработки** →
Предположения должны быть физически правомерны
а. Подбор давлений
б. Подбор дебитов
Настроенная модель не является единственной верно настроенной
7. Анализ чувствительности возможен на любой стадии
8. Прогнозирование добычи при различных сценариях разработки

Семейство продуктов ECLIPSE



Типы выходных файлов

		Ключевое слово	Расширение	Преимущества	Недостатки
Тип файла	Форматированный: текстовый формат	FMTOUT	*FEGRID	Можно просмотреть в текстовом редакторе	Большой размер
	Неформатированный: бинарный формат	(по умолчанию)	*EGRID	Мал в размере	Необходимо использовать макрос @convert, чтобы открыть в текстовом редакторе
Тип содержимого	Унифицированный: единственный, но объединяющий все временные шаги	UNIFOUT	*UNRST	Неограниченное число отчетов При сбое последний отчет не сохраняется	Нельзя удалить ненужные отчеты
	Неунифицированный файл: отдельный файл для каждого временного шага	(по умолчанию)	*X0001, *X0002 и тд	Ненужные файлы могут быть удалены При сбое последний файл отчёта не записывается	Максимально может быть записано только 9999 отчетов

Выходные файлы (1 of 2)

*** часто используемые**

Тип файла	Назначение	Основные задающие ключевые слова	По умолчанию (Неформатир неунифицир)	FMTOUT UNIFOUT (форматир унифицир)	UNIFOUT (неформатир унифицир)	FMTOUT (форматир неунифицир)
Лог-файл	Оперативная информация о запуске (ошибки, сообщения и тп)	Нет (управляется ключами исполняемого файла Eclipse)	*LOG			
Отладочный файл	Специальная информация, используемая разработчиками и службой поддержки	DEBUG, DEBUG3, EPSDEBUG, VEDEBUG, WELDEBUG, RPTISOL	*DBG			
Файл основного вывода	Основной текстовый вывод, содержит сообщения, предупреждения, ошибки и информацию, запрошенную пользователем	MESSAGES, RPTGRID(L), RPTPROPS, RPTREGS, RPTSUM, RPTSOL, RPTSCHED	*PRT			
Файл геометрии	Структурная геометрия сетки, используется для визуализации (GRID – старый формат, EGRID – расширенный)	GRIDFILE	*EGRID *GRID	*FEGRID *FGRID	*EGRID *GRID	*FEGRID *FGRID
Файл инициализации	Свойства сетки на начальный момент времени, регионы и таблицы свойств флюидов и пород (пористость, проницаемость, поровый объём, проводимость) Используется для визуализации	INIT	*INIT	*FINIT	*INIT	*FINIT
Файл потоков	Потоки и давления на границах FLUX-регионов	DUMPFLUX	*FLUX	*FFLUX	*FLUX	*FFLUX

Выходные файлы (продолжение)

*** часто используемые**

Тип файла	Назначение	Основные задающие ключевые слова	По умолч (неформ неунифиц)	FMTOUT UNIFOUT (форматунифиц)	UNIFOUT (неформатуни фицир)	FMTOUT (формат неунифиц)
Спецификация summary-файлов	Содержание векторов в summary-файлах	–	*SMSPEC	*FSMSPEC	*SMSPEC	*FSMSPEC
Summary-файлы ▢	Используются для отображения графиков, содержат изменение величин по месторождению, группе, скважине, перфорации во времени	Мнемоники секции SUMMARY (см ECLIPSE Reference Manual)	*Snnnn	*FUNSMRY	*UNSMRY	*Annnn
Текстовый табличный summary-файл (run summary)	То же, что summary-файлы, только данные содержатся в текстовом табулированном формате	RUNSUM, EXCEL, LOTUS, NARROW, SEPARATE	*RSM			
Файл RFT-данных	Содержит смоделированные RFT-данные, перенесённые с ячеек на соединения скважин	WRFT, WRFTPLT	*RFT	*FRFT	*RFT	*FRFT
Restart-файлы ▢	Используются в перезапусках (restart'ax) и для визуализации, содержат полное описание месторождения на определённые пользователем отчётные моменты времени	RPRST, RPTSCHED, RPTSOL	*Xnnnn	*FUNRST	*UNRST	*Fnnnn

Полезные макросы ECLIPSE

На ПК:

- **\$convert**: используется для преобразования Formatted/Unformatted, Unified/Multiple

ECLIPSE Data File Format

Комментарии
помечаются --

```
-----RUNSPEC SECTION-----
RUNSPEC
TITLE
E100 COURSE EXAMPLE
--Test Porosity Multiplier 2x near P1A
DIMENS
  20  5  10 /
OIL
WATER
WELLDIMS
  4  20  1  4 /
AQUDIMS
  4*  1  250 /
REGDIMS
--NTFIP  NMFIPR
  10      10 /
START
  1 'JAN' 1994 /
-----GRID SECTION-----
GRID
INCLUDE
BC.GRDECL /
EQUALS
'PORO ' 0.250 /
'PERMX' 2000 /
'PERMX' 10  1 20 1 5 1 1 / Upper Mn
'PERMX'  5  1 20 1 5 2 2 / Middle Mn
'PERMX' 100 1 20 1 5 3 3 /
'PERMX' 200 1 20 1 5 5 5 /
'PERMX'  50 1 20 1 5 10 10 /
/
```

Ограничение: 132
символа

Следующие 4
параметра
принимаются по
умолчанию

После завершающего '/' любой
неустановленный параметр
принимается по умолчанию

Ключевые слова
начинаются с первой
позиции

Комментарии могут
находиться после
завершающего '/'

Полезные ключевые слова «для любой секции»

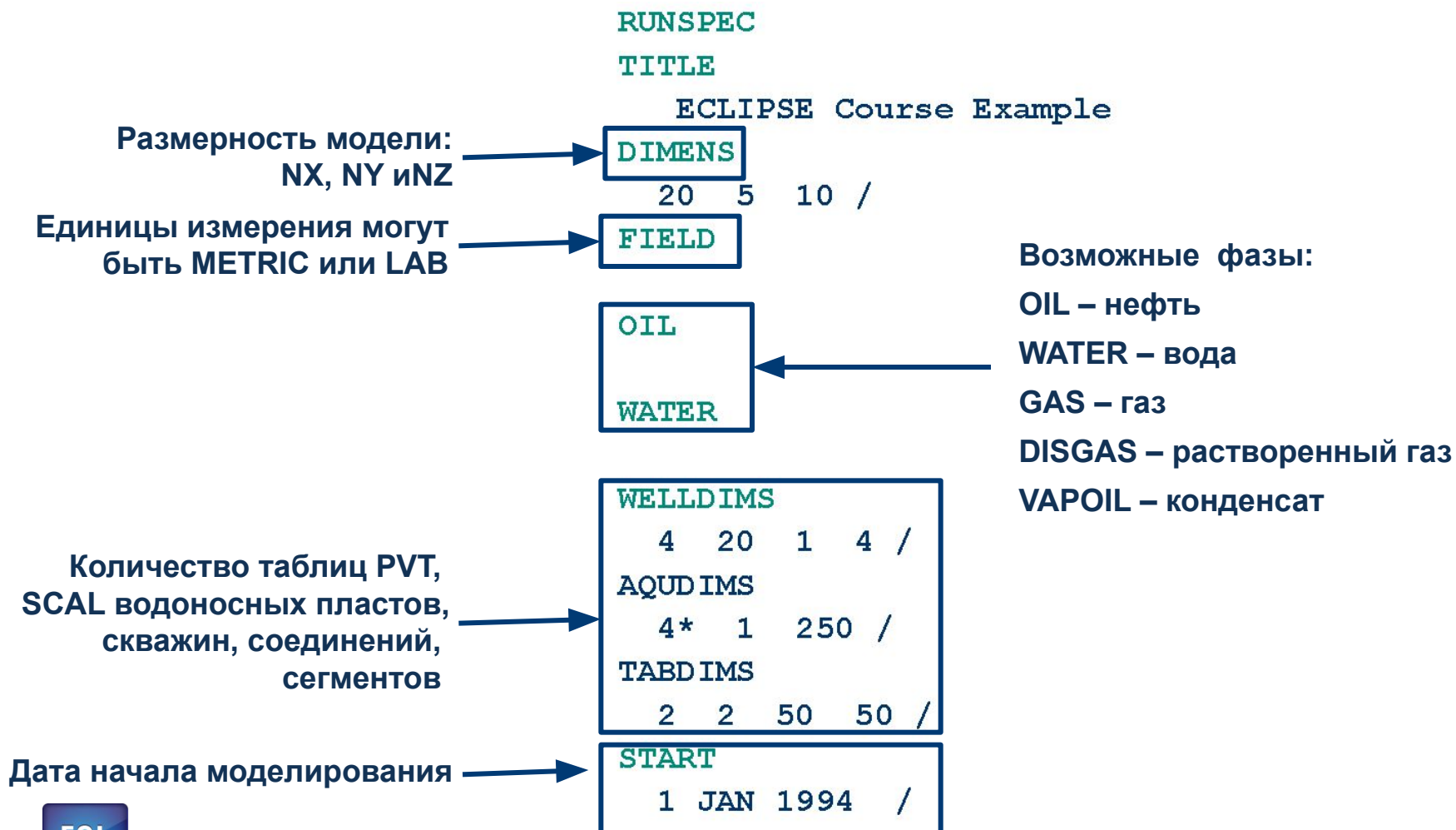
- **INCLUDE** Подсоединить внешний файл к файлу данных ECLIPSE
- **ECHO** Запросить вывод списка ключевых слов в PRT
- **NOECHO** Не выводить ключевые слова в PRT файл
- **EXTRAPMS** Вывод сообщения об экстраполяции VFP или PVT таблиц

Секция RUNSPEC

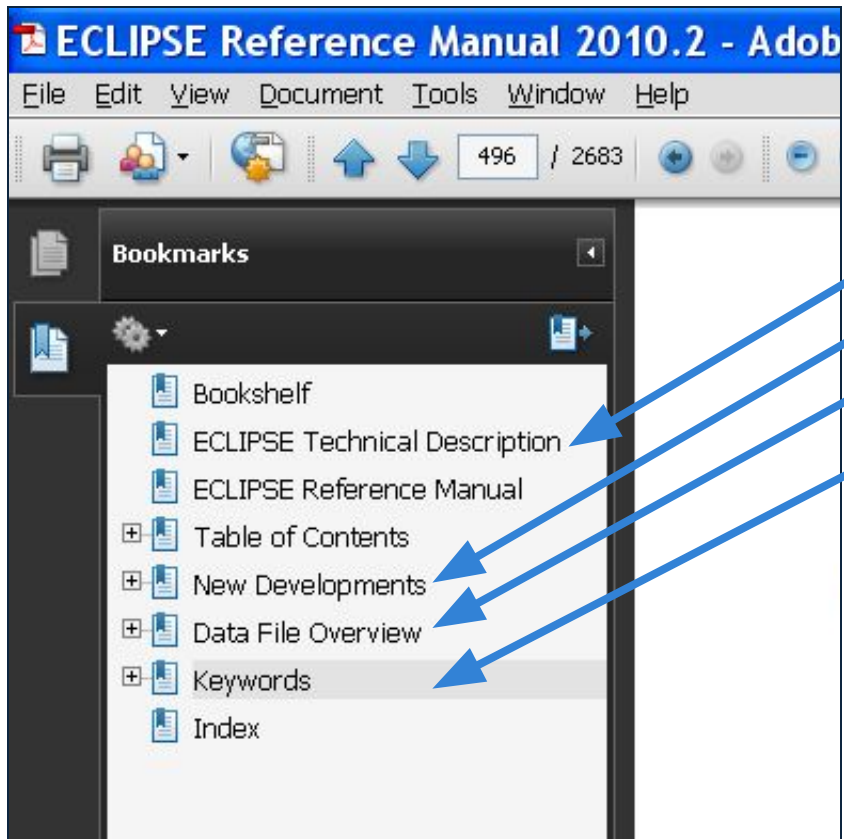
Назначение секции RUNSPEC

- Установить дату начала моделирования
- Задать основные параметры модели
- Выделить память (RAM) для:
 - Сетки моделирования
 - Скважин
 - Табличных данных и т.д.

Пример секции RUNSPEC



Как использовать справочники



Кнопка *Manuals* доступна на панели запуска Eclipse или @pdf на unix

- Технические описания по темам
- Новые опции
- Обзор файла с данными
- Список ключевых слов по алфавиту

Возможен Поиск!

Примеры файлов с данными включены в инсталляционный пакет

ECLIPSE Parallel

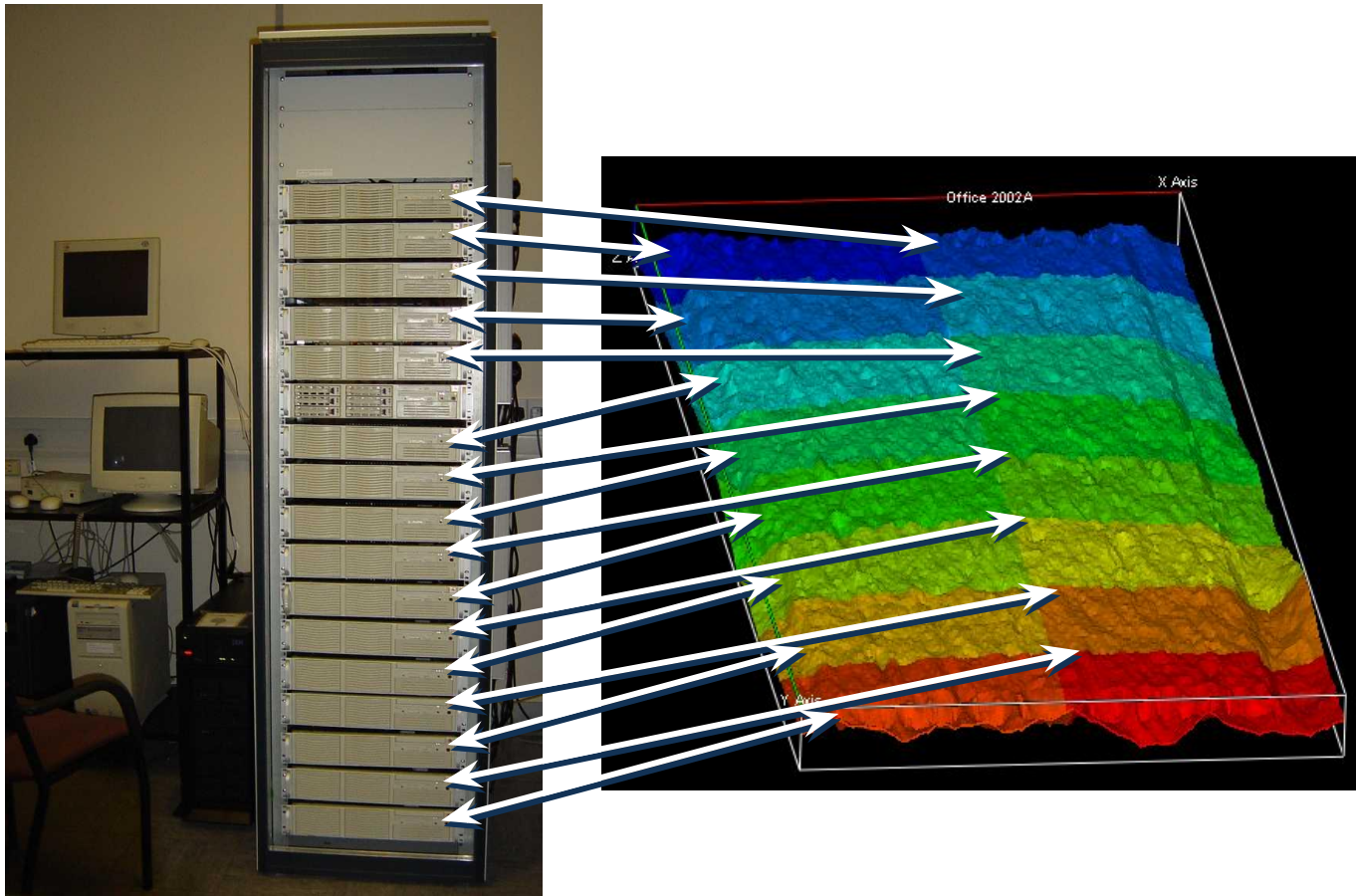
- Позволяет разделить моделирование одного набора данных на несколько процессоров/ядер
- Моделирование выполняется за меньшее время
- Для каждого процессора требуется меньше памяти

PARALLEL

--#Procs

4 /

Как работает опция Parallel



GRID секция

Цель секции GRID

- Секция GRID содержит свойства, используемые для расчета порового объема и проводимостей

$$PV = V_{\text{cell}} \cdot \phi \cdot NTG$$
$$T_{(x,y,z)} = \frac{K_{(x,y,z)} \cdot A_{(x,y,z)} \cdot NTG}{L_{(x,y,z)}}$$

Необходимые свойства для ячеек

Геометрия

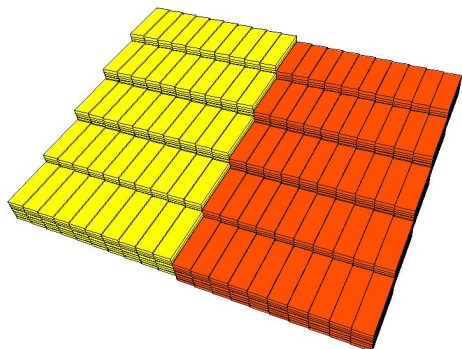
- Размеры ячеек и глубины

Свойства

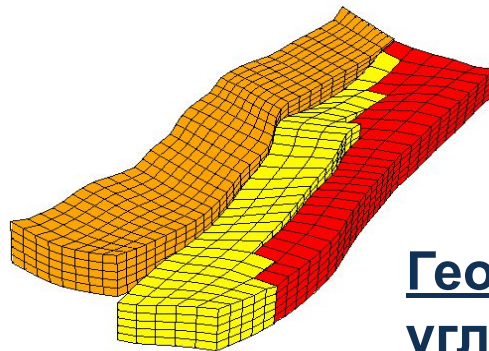
- Пористость
- Проницаемость

Песчанистость – NTG – по умолчанию равно 1

Типы сеток

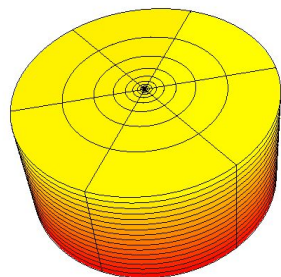


Блочно-центрированная

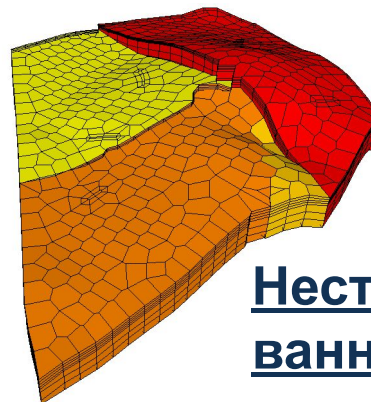


Декартовы
сетки

Геометрия
угловой точки



Радиальная



Неструктуриро-
ванные (PEBI)

Блочно-центрированная и Угловой точки:

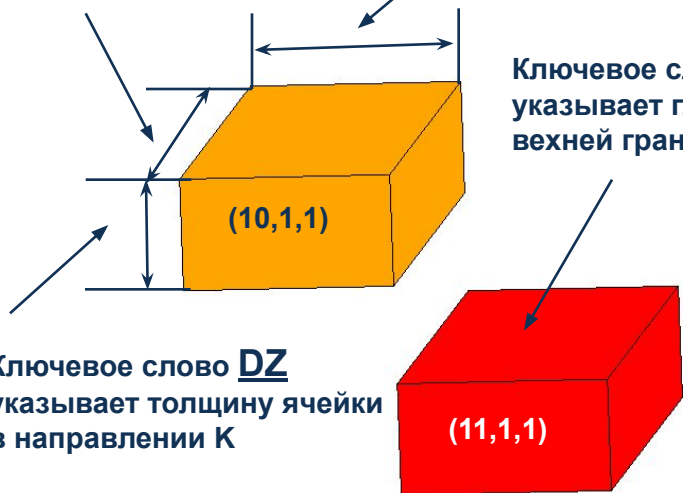
Блочно-центрированная

Ключевое слово **DX**
указывает толщину ячейки
в направлении I

Ключевое слово **DY**
указывает толщину ячейки
в направлении J

Ключевое слово **TOPS**
указывает глубину
верхней грани

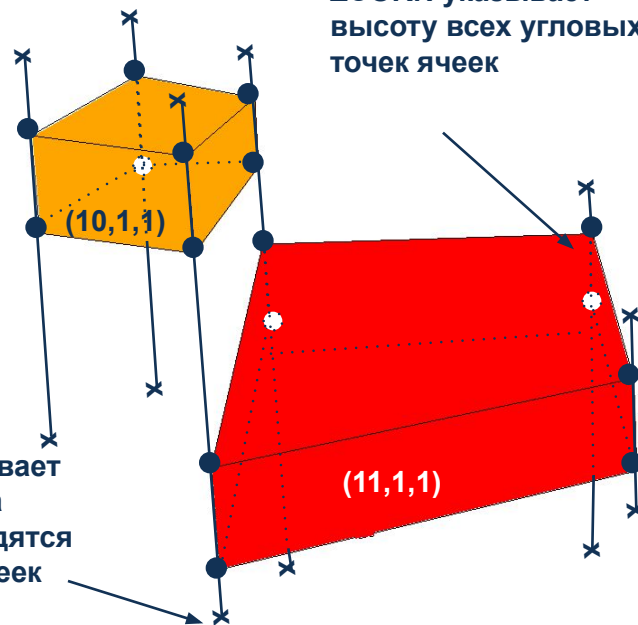
Ключевое слово **DZ**
указывает толщину ячейки
в направлении K



Геометрия угловой точки

ZCORN указывает
высоту всех угловых
точек ячеек

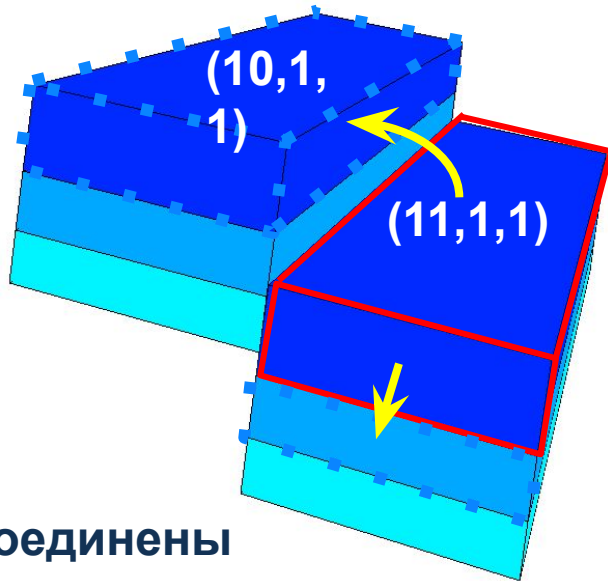
COORD указывает
X,Y,Z линий, на
которых находятся
углы точки ячеек



Блочно-центрированная и Угловая точка

Поток из  ячейки в  ячейку

Блочно-центрированная



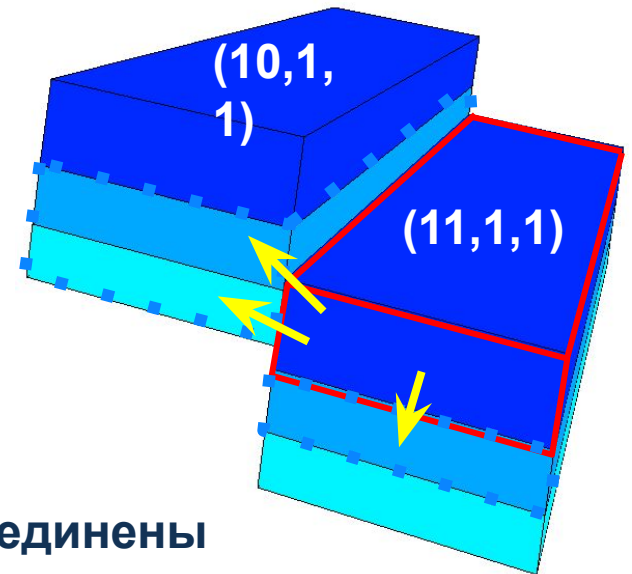
Ячейки соединены логически:

$(11,1,1) \square (11,1,2) \& (10,1,1)$



ECLIPSE

Угловая точка



Ячейки соединены геометрически :

$(11,1,1) \square (11,1,2), (10,1,2)_{\text{part}} \& (10,1,3)$

Schlumberger

Блочно-центрированная и Угловая точка

Блочно-центрированная:

- Простое описание ячеек
- Препроцессор не требуется
- Объем геометрических данных невелик
- Геологические структуры моделируются упрощенно
- Сложно смоделировать разломы и выклинивания
- Устанавливает некорректное соединение ячеек вблизи разлома (требуется ручной модификации)

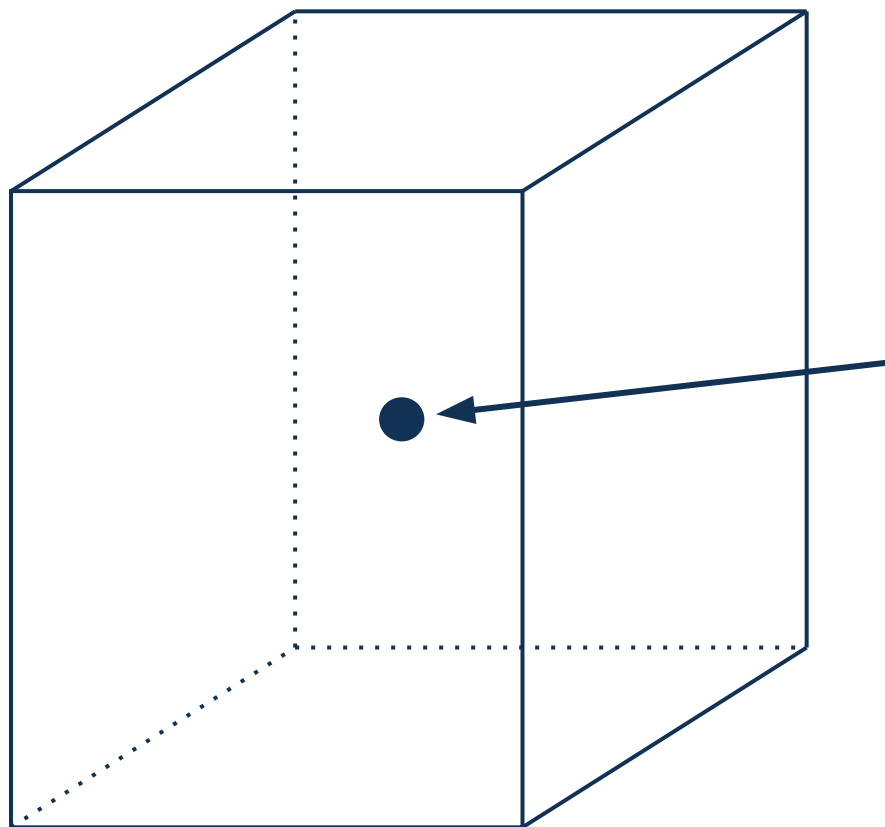
Геометрия угловой точки:

- Описание ячеек может быть сложным
- Необходим препроцессор
- Большой объем геометрических данных
- Геологические структуры моделируются точно
- Разломы и выклинивания моделируются точно
- Слои, прилегающие к разлому, моделируются точно

Сравнение радиальной и декартовой сеток

Блочнo-центрированная		Угловая точка
Декартова	Радиальная	Декартова
NX, NY, NZ	NR, NTHETA, NZ	NX, NY, NZ
DX, DY, DZ	DR (INRAD & OUTRAD), DTHETA, DZ	COORD, ZCORN
PERMX, -Y, -Z	PERMR, -THT, -Z	PERMX, -Y, -Z
MULTX, и др...	MULTR, и др...	MULTX, и др...

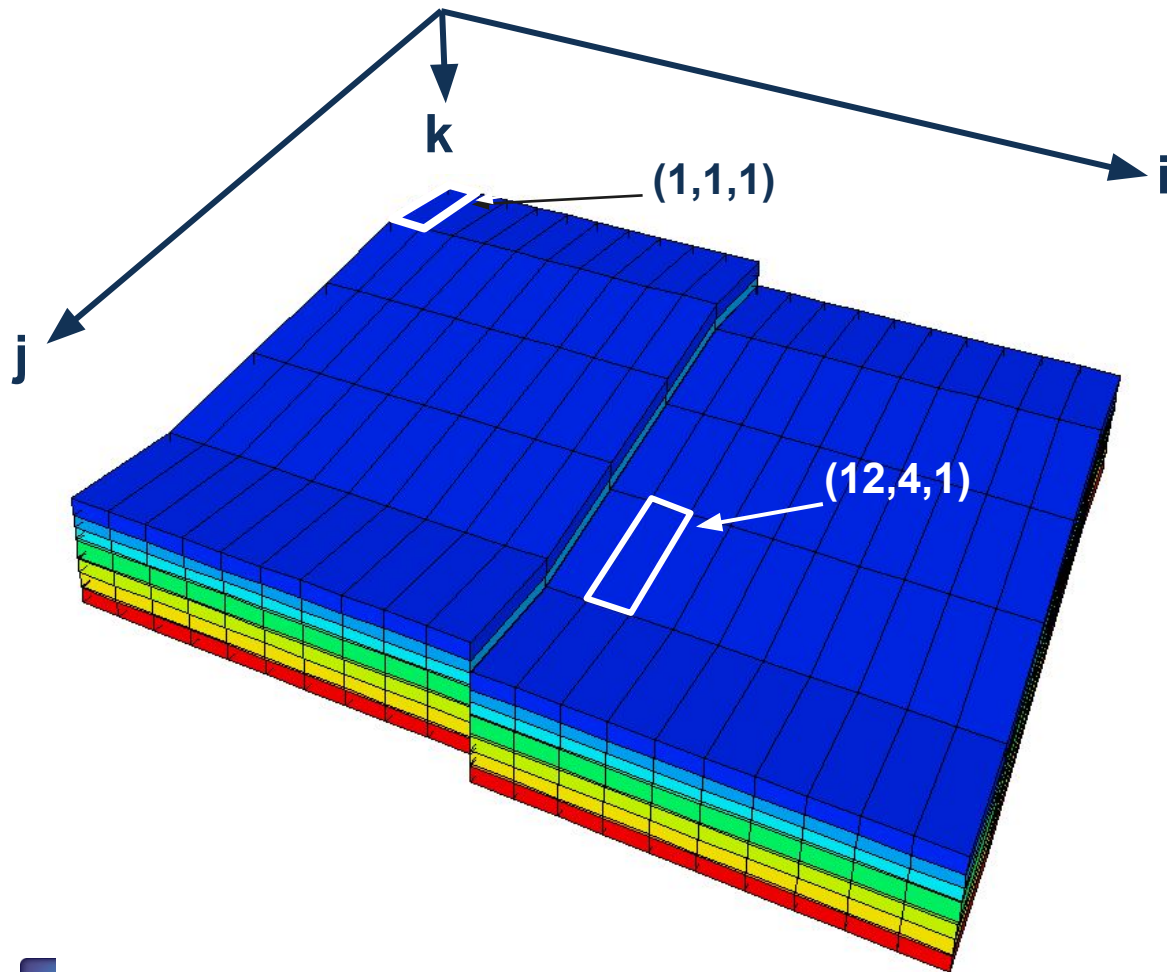
Определение свойства ячейки сетки



Свойства ячейки определяются как средние в центре ячейки:

- PORO
- PERMX, PERMY, PERMZ

Соглашение о считывании данных



Декартовы сетки

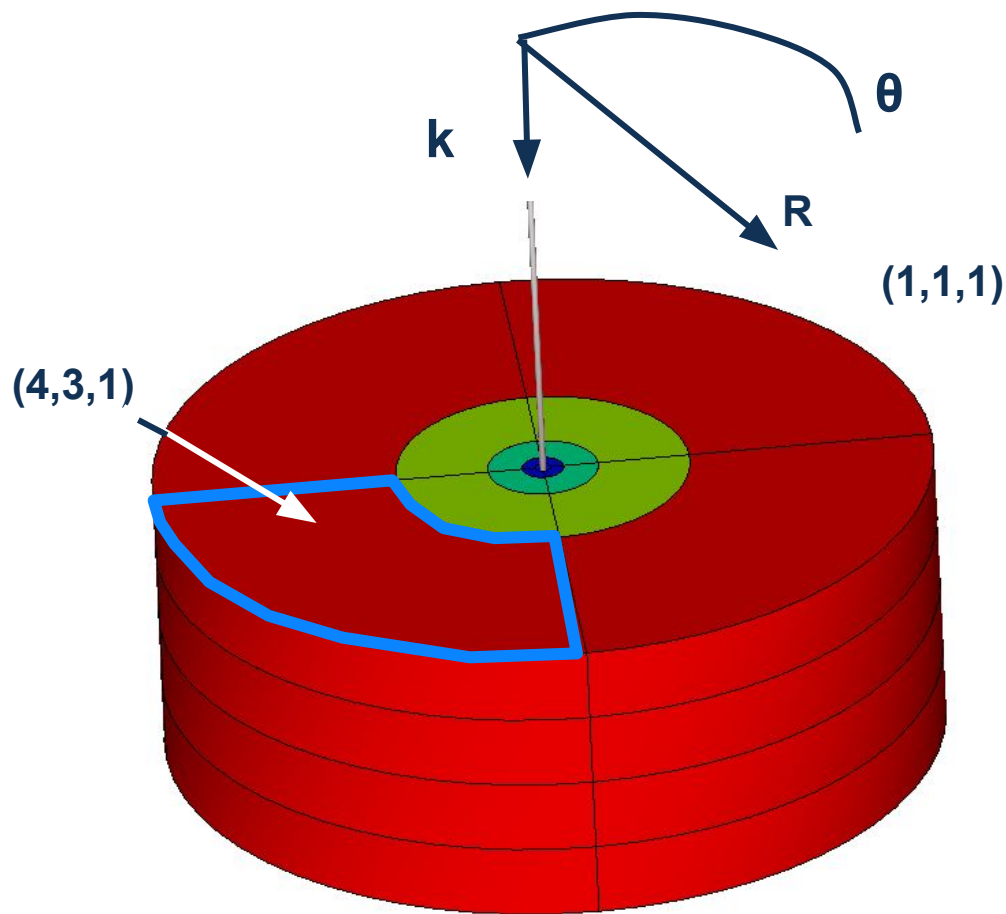
Данные по ячейкам
прочитываются:

Сначала по оси I ,
затем J , затем K

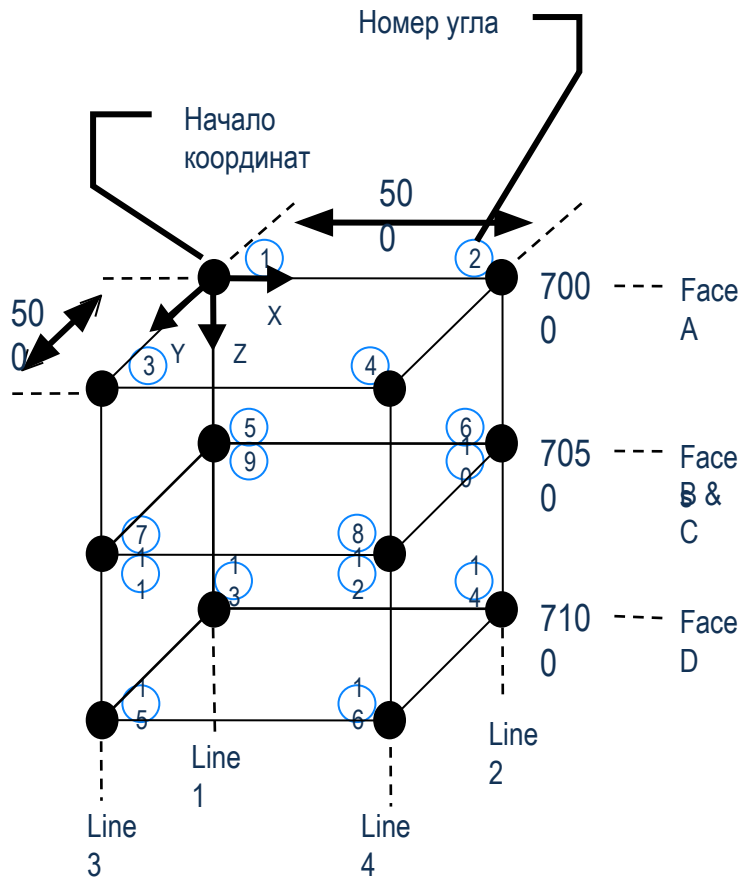
Соглашение о считывании данных

Радиальные сетки

Данные в ячейках считываются по R , затем θ , затем Z



Задание сетки



COORD

--4 coordinate lines

--xtop ytop ztop xbot ybot zbot

0 0 7000 0 0 7100 -- line 1

500 0 7000 500 0 7100 -- line 2

0 500 7000 0 500 7100 -- line 3

500 500 7000 500 500 7100 -- line 4

/

ZCORN

--depths of 16 corners

7000 7000 7000 7000 -- 4 corners on face A

7050 7050 7050 7050 -- 4 corners on face B

7050 7050 7050 7050 -- 4 corners on face C

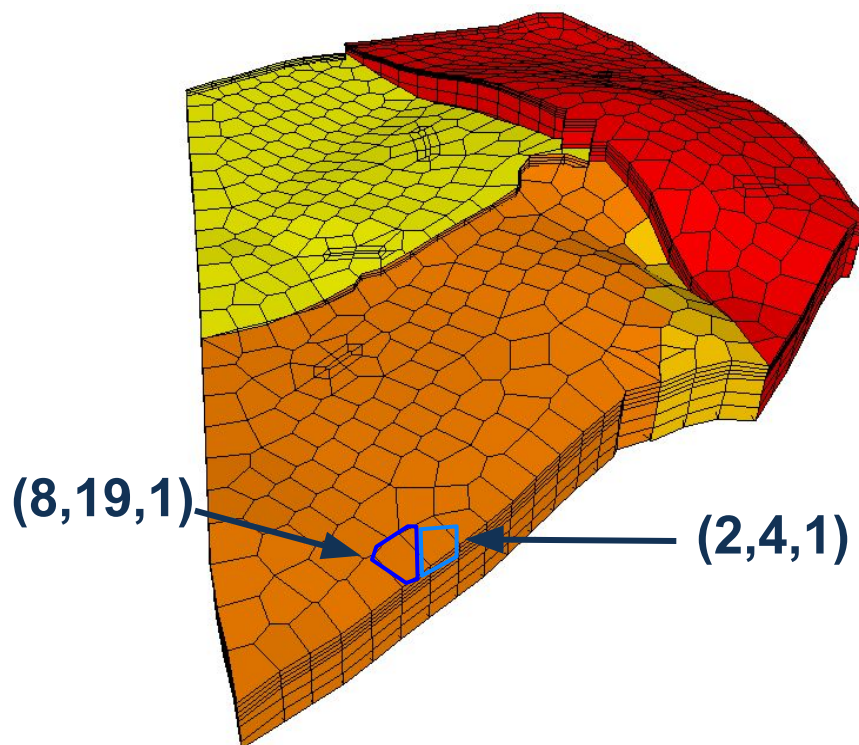
7100 7100 7100 7100 -- 4 corners on face D

/

Соглашение о считывании данных

- Неструктурированные сетки не имеют организацию строка-столбец

Неструктурированные сетки



Используйте пост-процессор для модификации сетки PEBI!

Неактивные ячейки

- Избежать расчета потока в «ячейках, которые не важны»
- ACTNUM – явно устанавливает активность каждой ячейки:
 - 0 – ячейка неактивна
 - 1 – ячейка активна
- MINPV устанавливает мин. поровый объем для активной ячейки
- PINCH устанавливает соединение через неактивные ячейки
- ECLIPSE сделает ячейку неактивной, если поровый объем 0

Примечание: FloViz и FloGrid обычно по умолчанию отображают только активные ячейки

(Scene > Grid > Show > Inactive cells)

Правила определения свойств в ячейке

Одно свойство для одной ячейки (всего - $NX \cdot NY \cdot NZ$)

- Значения также должны быть определены для неактивных ячеек
- Только явные значения
- Petrel имеет калькулятор свойств

Примеры ввода (1)

--NX = 5, NY = 3, NZ = 4

Указать каждое значение



NTG

1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Указать одинаковые значения с *



15*0.40
15*0.95
15*0.85 /

Пример EQUALS



EQUALS

'PORO'	0.250 /
'PERMX'	45 /



Ко всей сетке

'PERMX'	10	1	5	1	3	2	2 /
'PERMX'	588	1	5	1	3	3	3 /



К указанным ячейкам

Примеры ввода(2)

```
BOX
1 3 1 3 1 1 /
```

← BOX Пример

Происходит перезапись
PORO and PERMX
заданных ранее →

```
PORO
9*0.28 /

PERMX
100 80 85 83 99 110 92
91 84 /
```

ENDBOX

COPY Пример →

```
COPY
'PERMX' 'PERMY' /
'PERMX' 'PERMZ' /
/
```

MULTIPLY Пример →

```
MULTIPLY
'PERMZ' 0.05 /
/
```

Определение свойств ячеек в Petrel

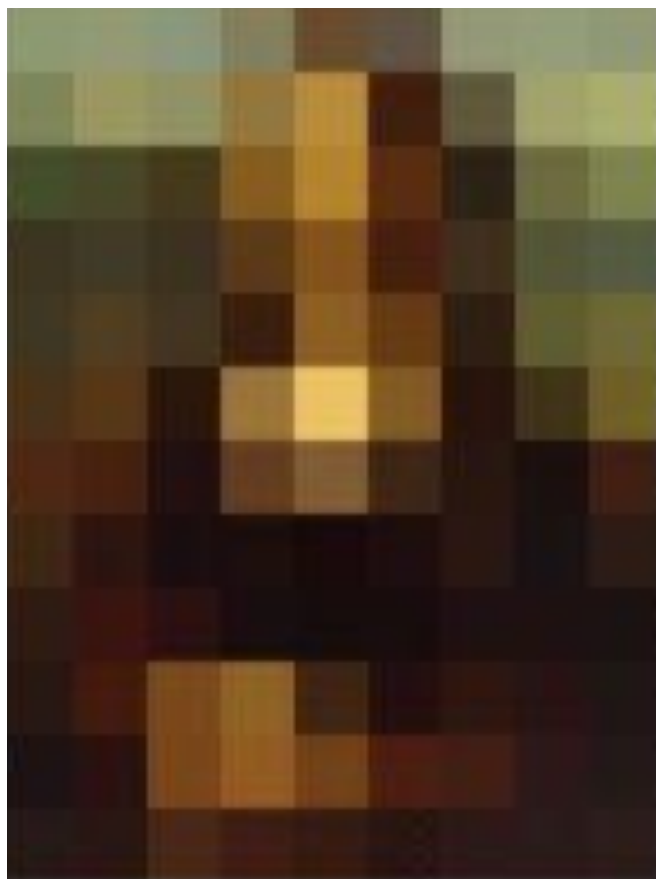
- Свойства приписываются каждой ячейке и экспортируются в файл
- Ключевое слово **INCLUDE** используется для загрузки свойств из Petrel

INCLUDE

props.grdecl /

Local Grid Refinement

Кто на картинке



Мона Лиза



Есть различие???



Локальное измельчение сетки (LGR)

Позволяет применять более плотную сетку в выбранных областях модели

Типичное применение:

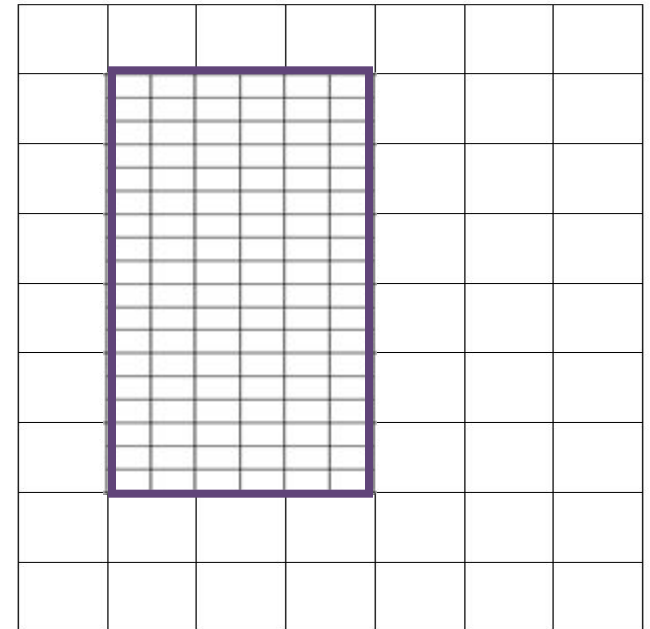
- Изменение давления около скважины
- Конусообразование и образование языков обводнения
- Выпадение конденсата
- Высокая плотность скважин

Создание декартового локального измельчения

CARFIN

--Name	I1	I2	J1	J2	K1	K2	NX	NY	NZ	Wells
LGR1	2	4	2	7	1	1	6	18	1	1 /

1. Вставить CARFIN, обновить LGR в RUNSPEC
2. Выбор ячеек глобальной модели для измельчения
3. Выбор размерности измельченной сетки



Создание локального измельчения радиального типа

1. Выбор диапазона ячеек глобальной модели
 - Один вертикальный столбец – RADFIN
ИЛИ
 - Столбец 2x2 (только E100) – RADFIN4
2. Выбор размерности измельчения
 - Внутренний и внешний радиус (опционально)
 - Ограничения на NTHETA:
 - Один столбец -> 1 или 4
 - 2 x 2 столбец -> 4 или 8
3. Вставить RADFIN (или RADFIN4), INRAD, OUTRAD (опционально) и обновить LGR в RUNSPEC

Пример LGR радиального типа(1)

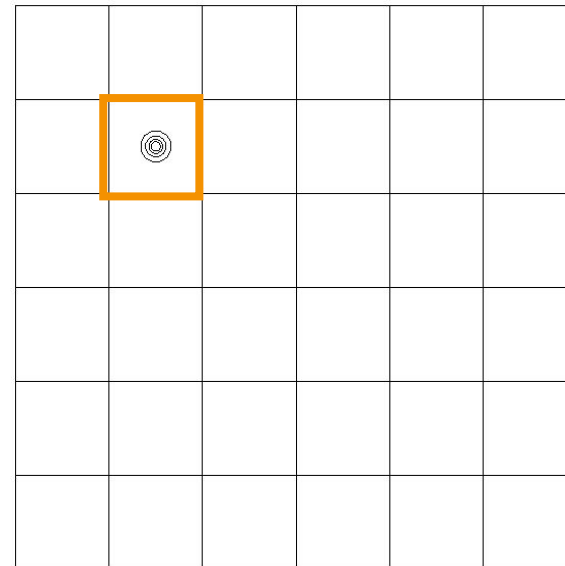
Один столбец ячеек

RADFIN

--Name	I	J	K1	K2	NR	NTHETA	NZ	Wells
RAD1	2	2	1	1	4	1	1	1 /

INRAD

0.507 /



Пример LGR радиального типа(2)

2 x 2 столбцы ячеек (только E100)

RADFIN4

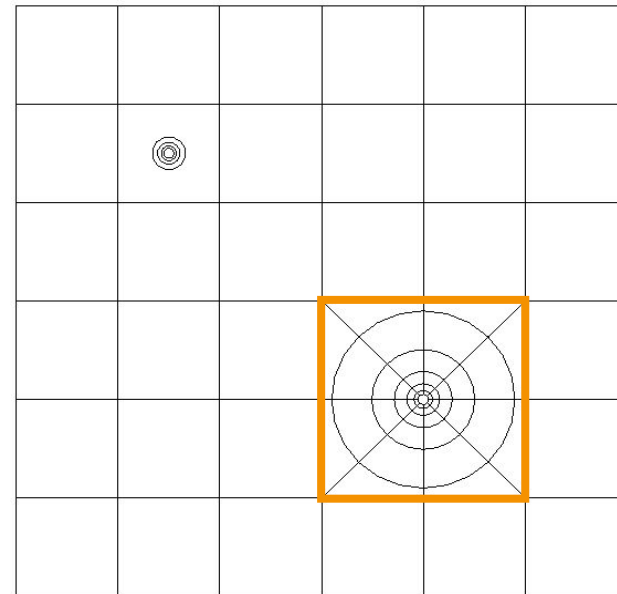
--Name	I1	I2	J1	J2	K1	K2	NR	NTHETA	NZ	Wells	
RAD4	4	5	4	5	1	1	6	8	1	1	/

INRAD

0.507 /

OUTRAD

9.0 /



Корректировка размеров ячеек LGR

Для корректировки размеров измельченных ячеек по умолчанию:

1. Установить число измельченных ячеек в каждой глобальной ячейке
2. Определить относительные размеры измельченных ячеек
3. Закончить корректировку (если не изменяются свойства)

CARFIN

--Name	I1	I2	J1	J2	K1	K2	NX	NY	NZ	Wells	
ALGR	2	6	2	4	1	1	14	7	1	1	/

NXFEN

2 3 4 3 2 /

NYFEN

2 3 2 /

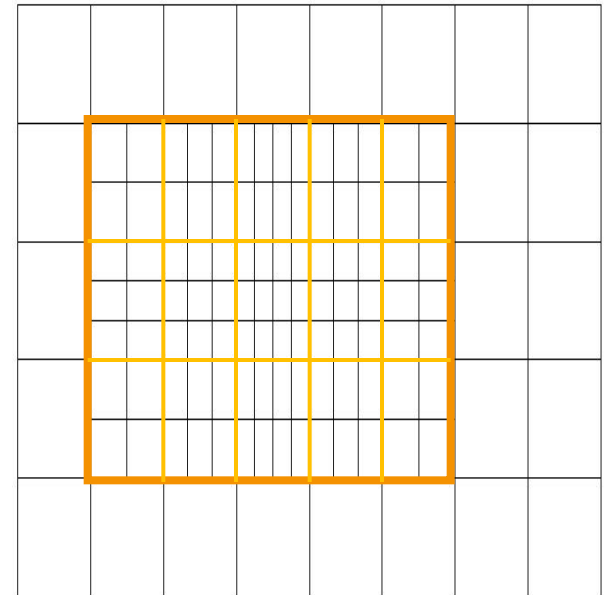
HXFEN

6 5 2 1 2 1 1 1 1 2 1 2 5 6 /

ENDFIN



ECLIPSE



Schlumberger

Изменение свойств

- Локальные ячейки автоматически наследуют свойства от соответствующих ячеек глобальной сетки
- Ключевые слова секции GRID
- Должны быть указаны после ключевых слов для измельчения сетки (CARFIN, RADFIN or RADFIN4) и до ENDFIN или последующего измельчения

CARFIN

--Name	I1	I2	J1	J2	K1	K2	NX	NY	NZ	Wells
LGR1	2	4	2	7	1	1	6	18	1	1 /

EQUALS

PORO 0.18 /

PERMX 150 /

/

ENDFIN



ECLIPSE

Schlumberger

Несоседние соединения (NNCs)

NNC разрешает поток между ячейками с несоседними IJK индексами

- Выклинивание (PINCH и/или MINPV)
- Разломы
- Водоносные пласты
- Локальное измельчение (LGRs)
- Заданные пользователем NNCs

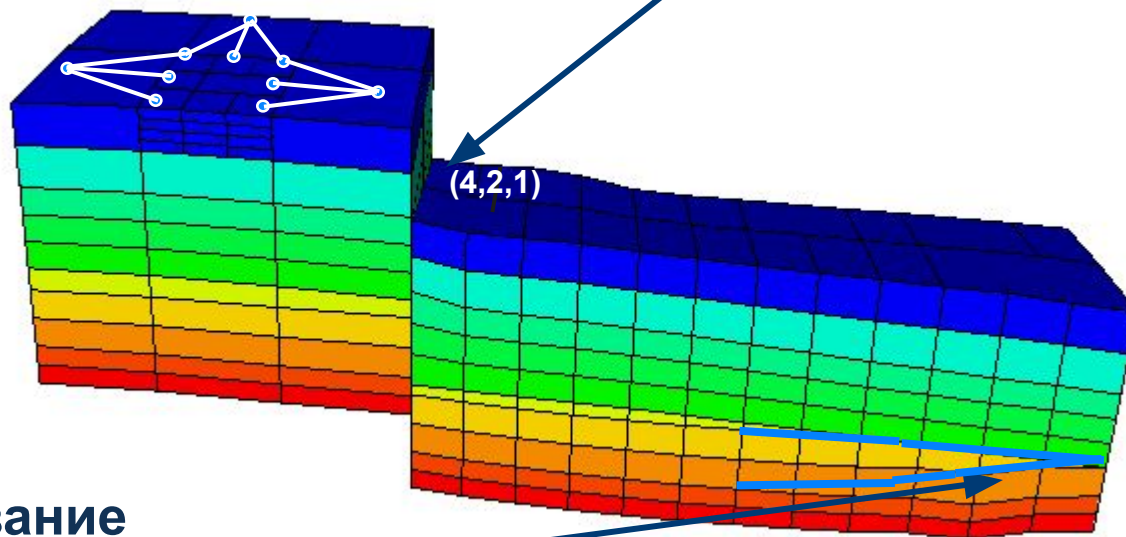
Источники NNCs

Локальное измельчение

Глоб ячейка (1,2,1) имеет NNC с ячейками LGR (1,1,1), (1,2,1) и (1,3,1)

Разлом

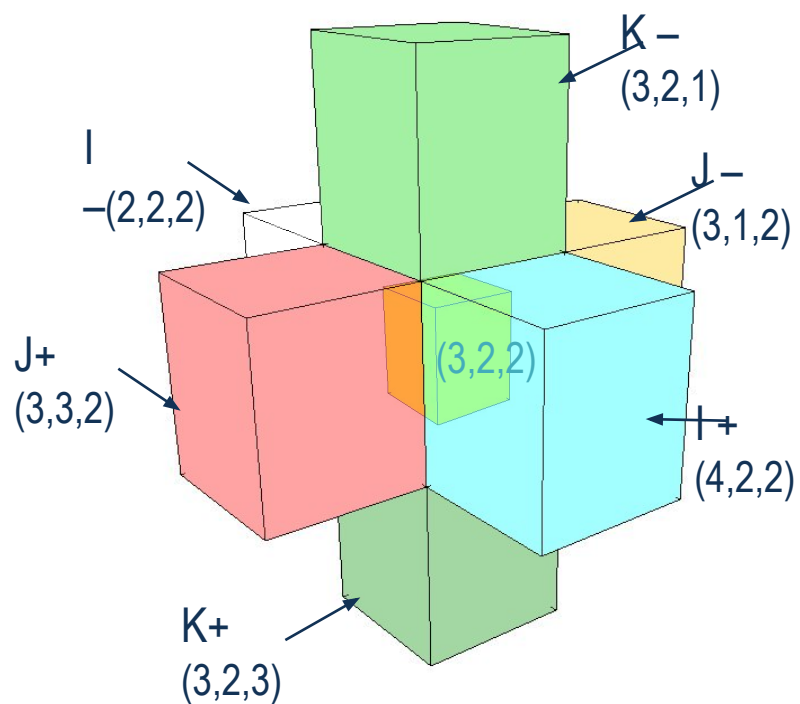
(4,2,1) имеет NNCs с (3,2,3) и (3,2,4)



Выклинивание

(12,2,5) имеет NNC с (12,2,7)
PINCH или MINPV должны
быть использованы

Соглашение об индексации



Опции для расчета проводимостей в ECLIPSE

- **OLDTRAN:**
 - По умолчанию для блочно-центрированных сеток
- **NEWTRAN:**
 - По умолчанию для угловой точки

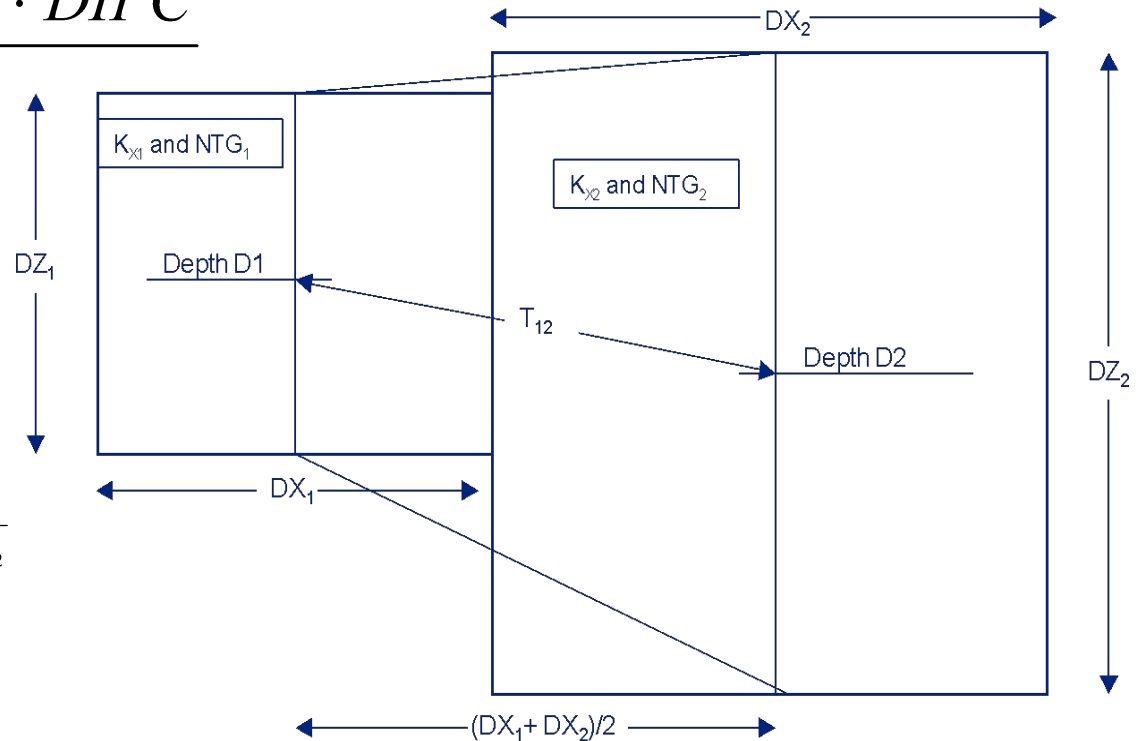
OLDTRAN определение

$$T_x = \frac{c \cdot \text{MULTX} \cdot A \cdot \text{DIPC}}{B}$$

$$A = \frac{DX_2 DY_1 DZ_1 NTG_1 + DX_1 DY_2 DZ_2 NTG_2}{(DX_1 + DX_2)}$$

$$B = \frac{\left(\frac{DX_1}{Kx_1} + \frac{DX_2}{Kx_2}\right)}{2}$$

$$\text{DIPC} = \frac{\left(\frac{DX_1 + DX_2}{2}\right)^2}{\left(\frac{DX_1 + DX_2}{2}\right)^2 + (\text{Depth}_1 - \text{Depth}_2)^2}$$

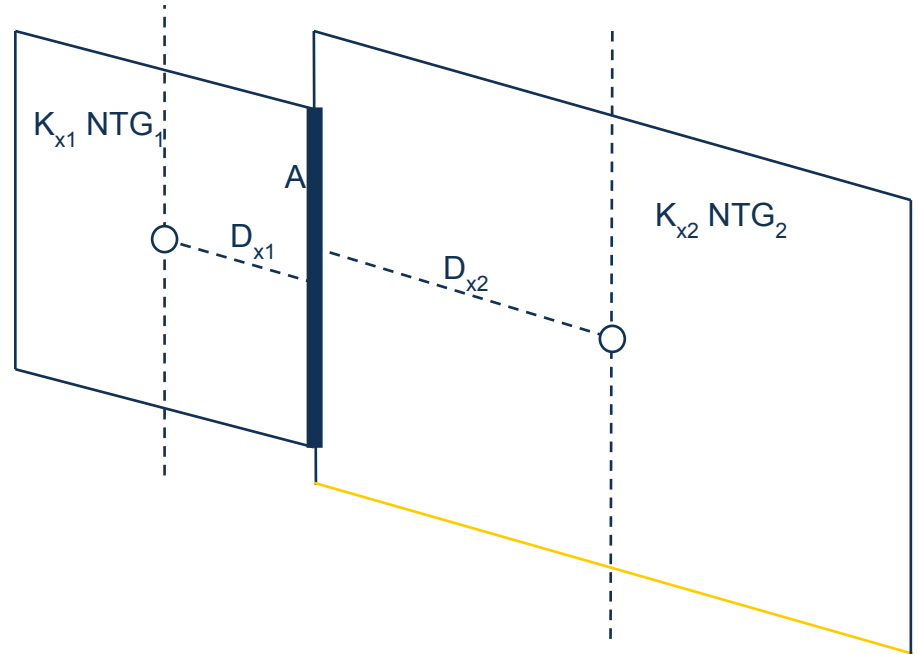


NEWTRAN определение

$$T_x = \frac{c \cdot \text{MULTX}_i}{\frac{1}{Kx_1 \cdot \text{NTG}_1 \left(\frac{A \cdot D_1}{D_1 \cdot D_1} \right)} + \frac{1}{Kx_2 \cdot \text{NTG}_2 \left(\frac{A \cdot D_2}{D_2 \cdot D_2} \right)}}$$

$$(A \cdot D_i) = A_X \cdot D_{iX} + A_Y \cdot D_{iY} + A_Z \cdot D_{iZ}$$

$$(D_i \cdot D_i) = D_{iX}^2 + D_{iY}^2 + D_{iZ}^2$$

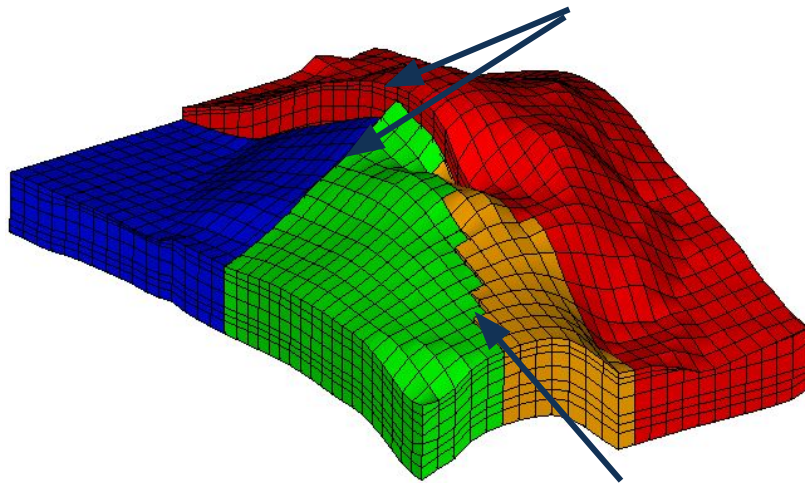


Правила изменения проводимости секции GRID

- Множители на проводимость (ключ. слова “MULT” и “MULT-”)

Изменения проводимости разлома

Прямые разломы (ID1 и ID2)



Зигзагообразный разлом (ID3)

FAULTS

--	IX1	IX2	IY1	IY2	IZ1	IZ2	FACE	
ID3	6	6	1	1	1	7	X+	/
ID3	7	7	1	1	1	7	Y+	/
ID3	7	7	2	4	1	7	X+	/
ID3	8	8	4	4	1	7	Y+	/
ID3	8	8	5	7	1	7	X+	/
ID3	9	9	7	7	1	7	Y+	/
ID3	9	9	8	8	1	7	X+	/
ID2	19	19	1	11	1	7	X+	/
ID1	11	35	11	11	1	7	Y+	/

/

MULTFLT

-- Multiplier

ID2 0.5 /

ID1 0 /

/

GRID секция контроль выходных данных

- Для вывода в PRT файл, используйте:
 - RPTGRID (запрос вывода многих ключевых слов из секции GRID, включая ALLNNC)
- Для просмотра в 3D используйте:
 - Геометрические данные (*.egrid)
GRIDFILE
0 1 /
 - Статические свойства (*init), INIT

EDIT секция

Цель секции EDIT

- Геометрия ячейки, поровый объем и проводимость **рассчитываются** в секции GRID
- Эти свойства **редактируются** в секции EDIT
- EDIT опциональна

Ключевые слова секции EDIT

- Некоторые результаты секции GRID могут быть отредактированы в секции EDIT:
 - PORV, TRAN (X, Y, R, THT, Z)
- Операторы
 - MULTIPLY, BOX, EQUALS, COPY, ADD, MINVALUE, MAXVALUE
- Другие
 - EDITNNC, MULTPV, MULTFLT

Секция PROPS

Свойства флюидов и пород

Назначение секции PROPS

- Секция PROPS содержит свойства пластовых флюидов и слагающих пород, зависящие от давления и насыщенности
- Требуемая информация (по каждому флюиду из RUNSPEC):
 - PVT флюида как функция от давления
 - Плотность или удельный вес
- Информация по свойствам пород:
 - ОФП как функции от насыщенности
 - Капиллярное давление как функция от насыщенности
 - Сжимаемость породы как функция от давления

Давление объем и температура (PVT)

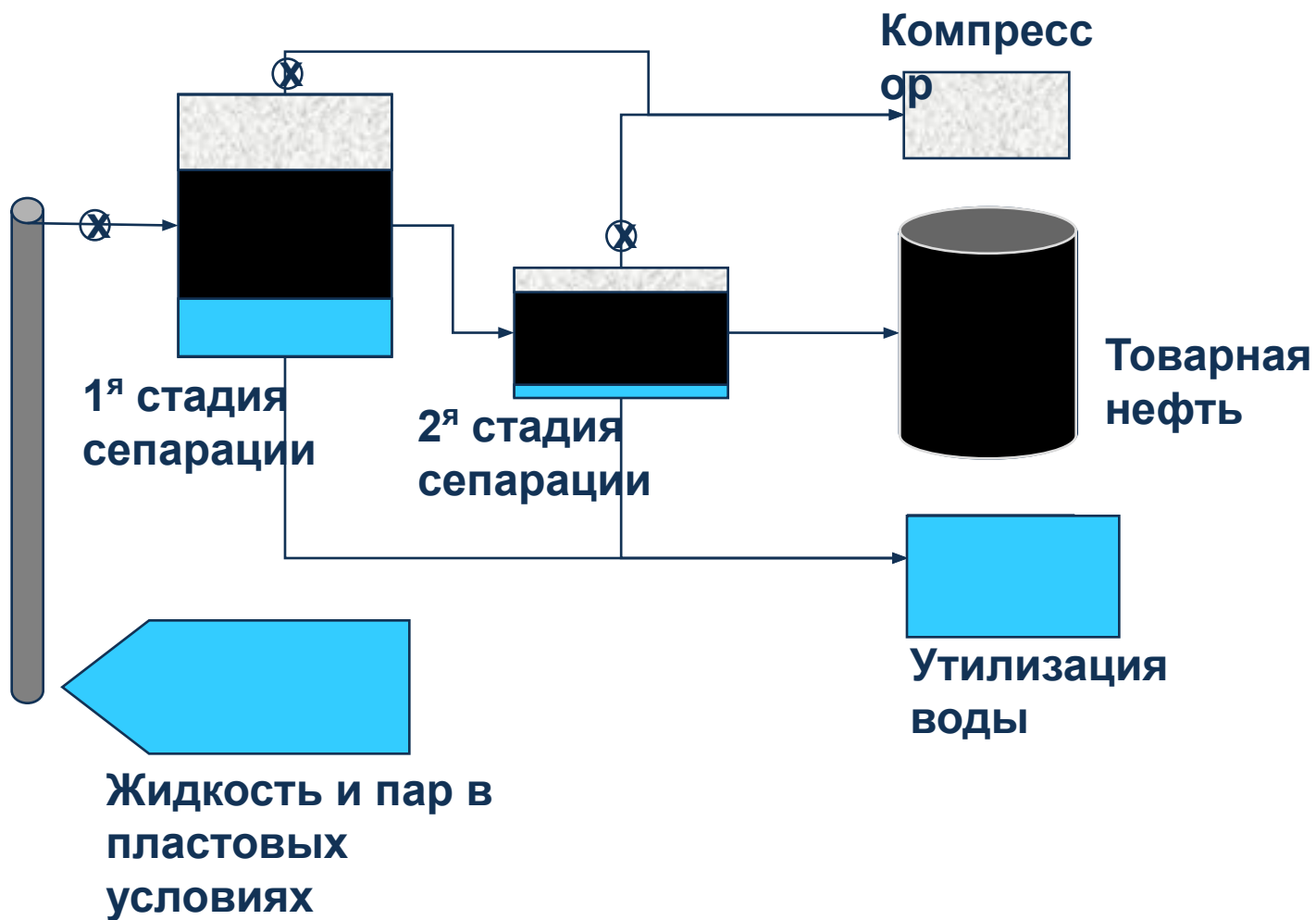
Зачем нужны PVT?

- Сохранение массы – ключевое уравнение симулятора
 - Добытый объем должен быть переведен в пластовые условия

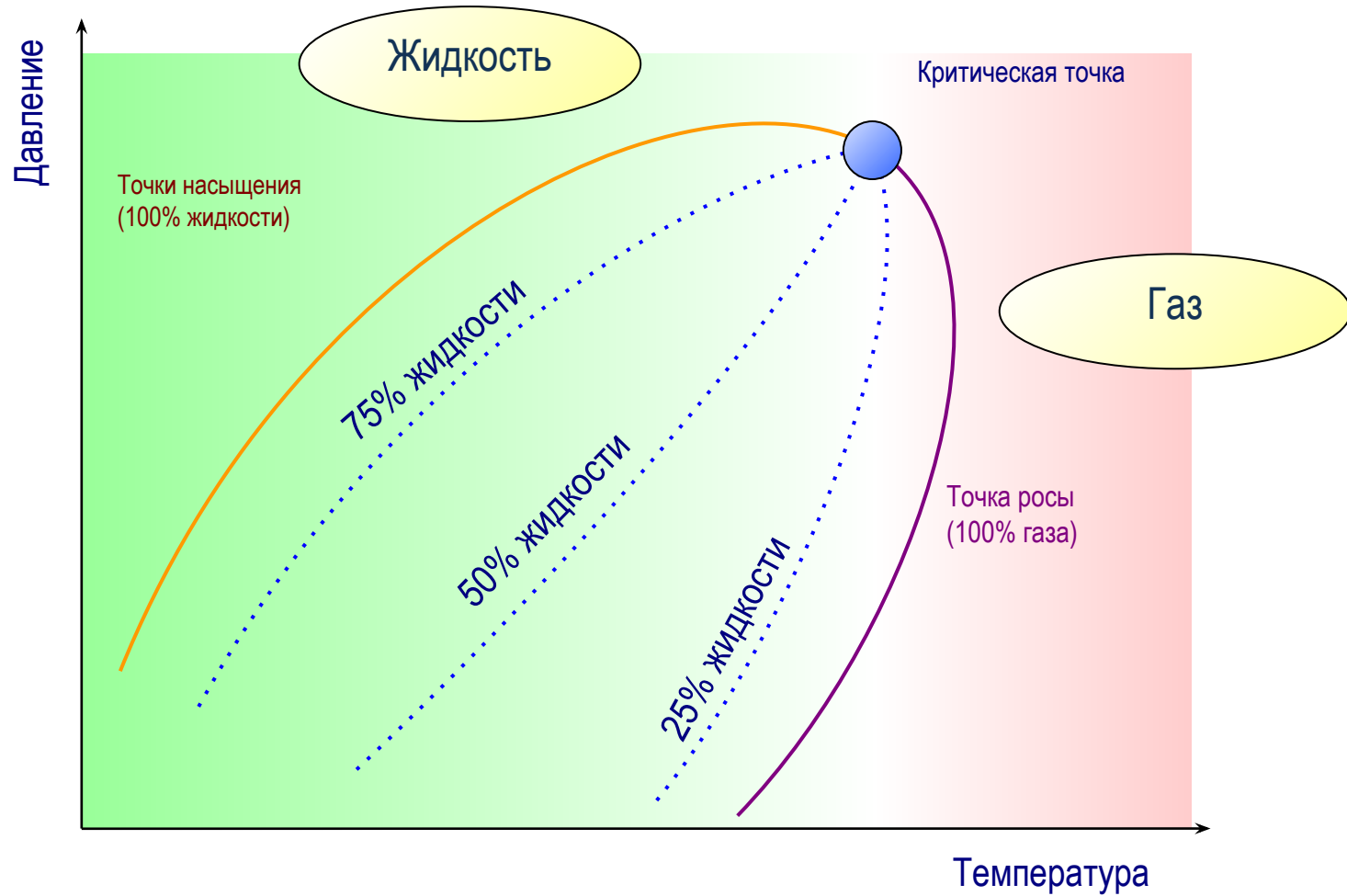
Что является источником данных PVT?

- Лабораторные эксперименты □ Уравнение состояния (УС)
- Корреляции
- Моделирование в PVTi

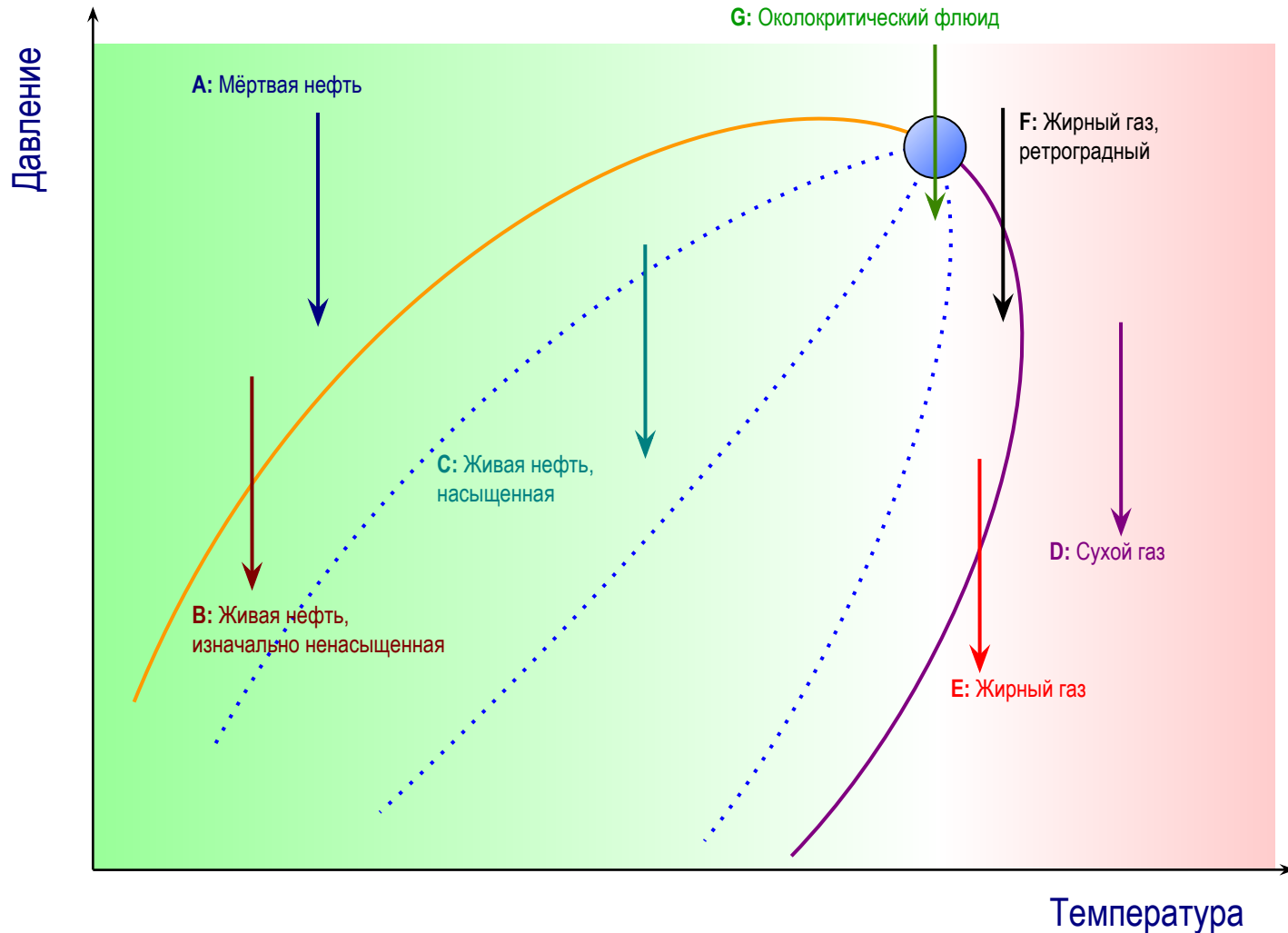
Переход из пластовых условий в товарные



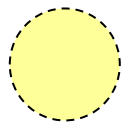
Фазовая диаграмма



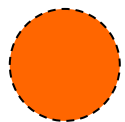
Принятая терминология в ECLIPSE



Применимость модели нелетучей нефти



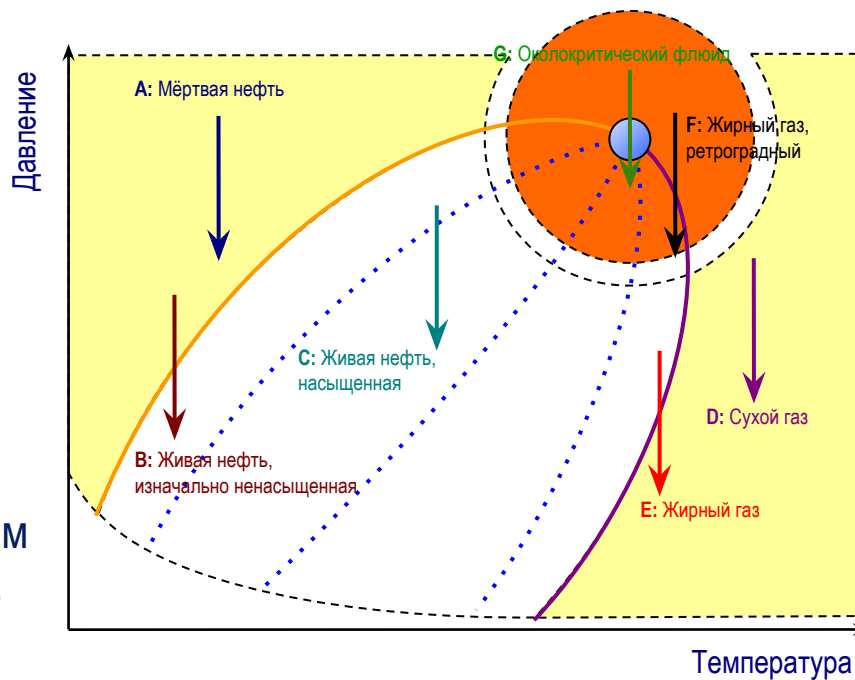
Подходит для модели нелетучей нефти



Модель нелетучей нефти **НЕ** подходит (используйте композиционную модель)



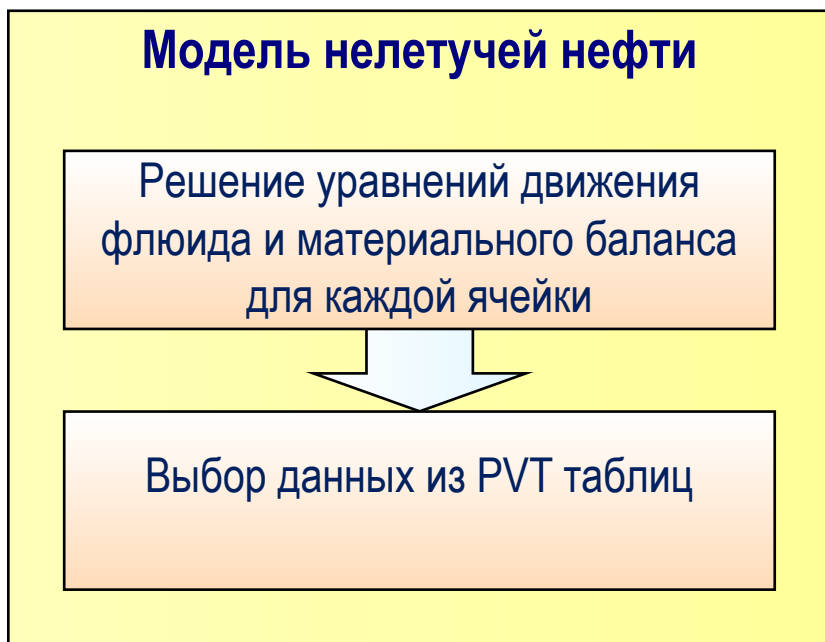
Свойства нефти аппроксимируются варьированием отношений газ/нефть и нефть/газ



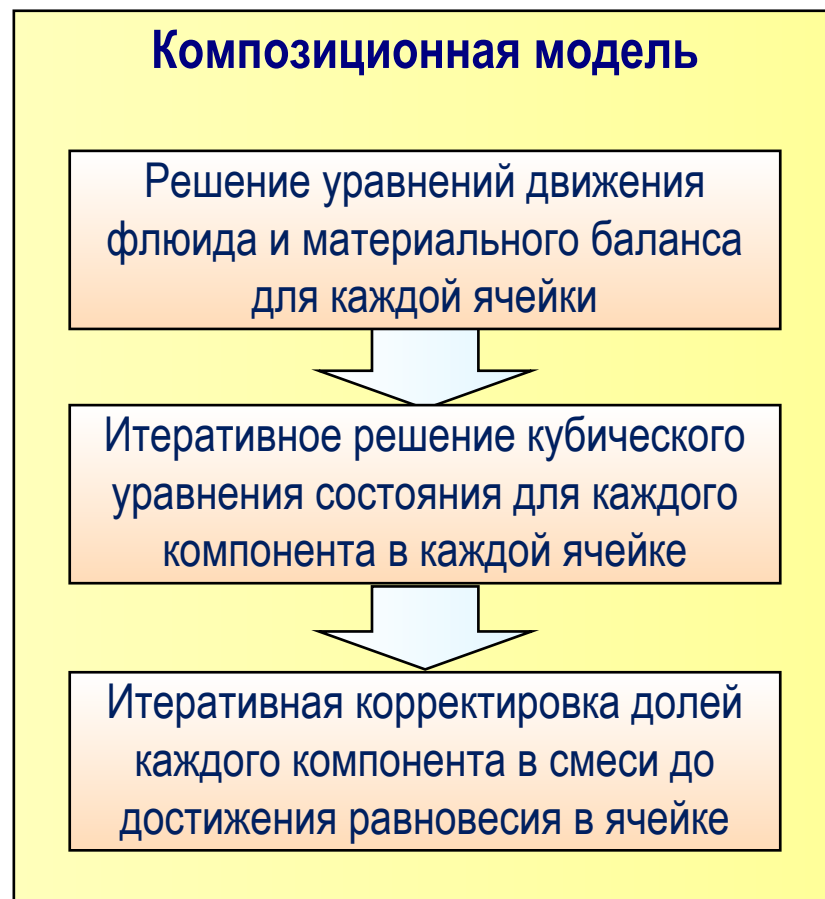
Условия применимости модели нелетучей нефти к этой области:

- Выпадение конденсата или выделение газа должно составлять незначительную долю запасов углеводородов
- Композиционный состав оставшейся части углеводородов не должен сильно меняться при выделении газа или выпадении конденсата

Сопоставление моделей

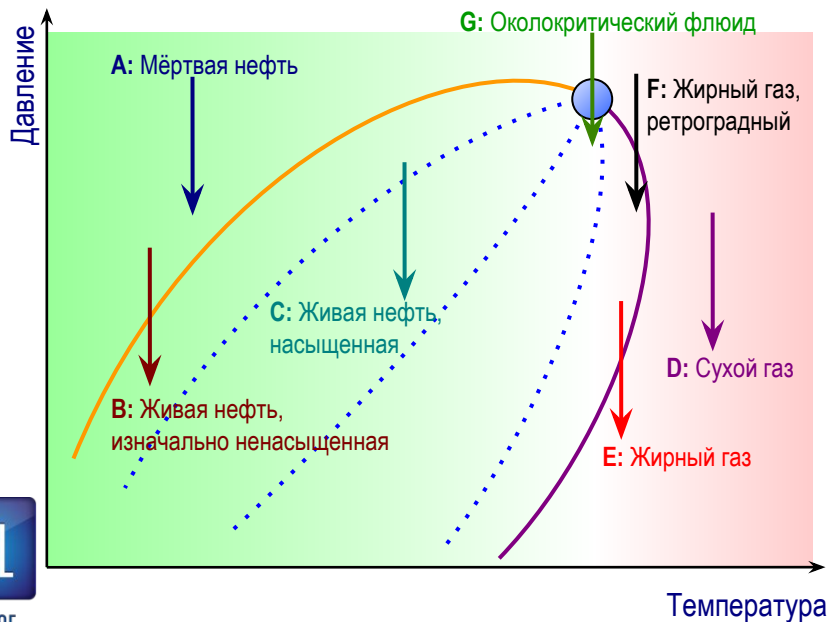


На каждом временном шаге



Опции модели нелетучей нефти

# фаз	Комбинация	Ключевое
1	Разгазированная	OIL
	сухой газ	GA
	газ	WATER
2	Мертвая нефть	OIL,
	сухой газ	WATER
	Мертвая нефть	WATER
3	Жирная нефть + раствор	OIL, GAS, DISGAS,
	Жирный газ + испар	WATER, GAS, VAPOIL,
	Нефть + раствор	WATER
	Жирный газ + испар	OIL, GAS, DISGAS, VAPOIL,
	Нефть + раствор	WATER
	Жирный газ + испар	OIL, GAS, DISGAS, VAPOIL,
	Нефть + раствор	WATER



Уравнения в модели нелетучей нефти

$$\rho_o^{(R)} = \frac{\rho_o^{(S)} + R_S \rho_g^{(S)}}{B_o}$$

где B_o (объёмный коэффициент):

$$B_o = \frac{V_o^{(R)}}{V_o^{(S)}}$$

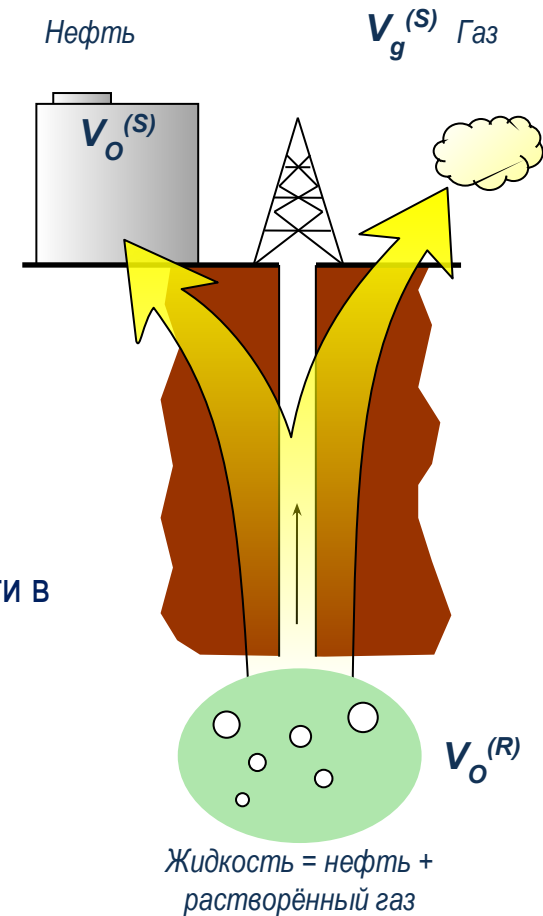
и R_S (количество растворённого газа в жидкости в условиях пласта, которое выделилось на поверхности):

$$R_S = \frac{V_g^{(S)}}{V_o^{(S)}}$$

Верхние индексы:

(R) – в пластовых условиях;

(S) – в поверхностных условиях

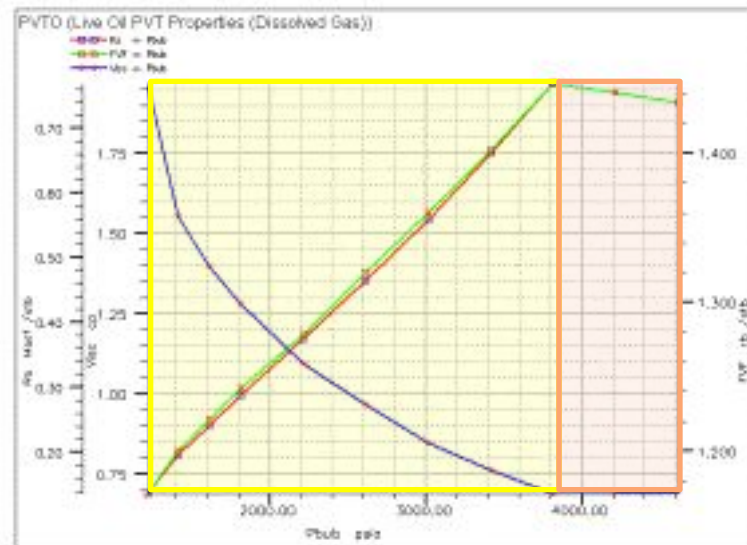


Живая нефть – PVTO

PVTO

--Rs P_{hub} FVF Mu

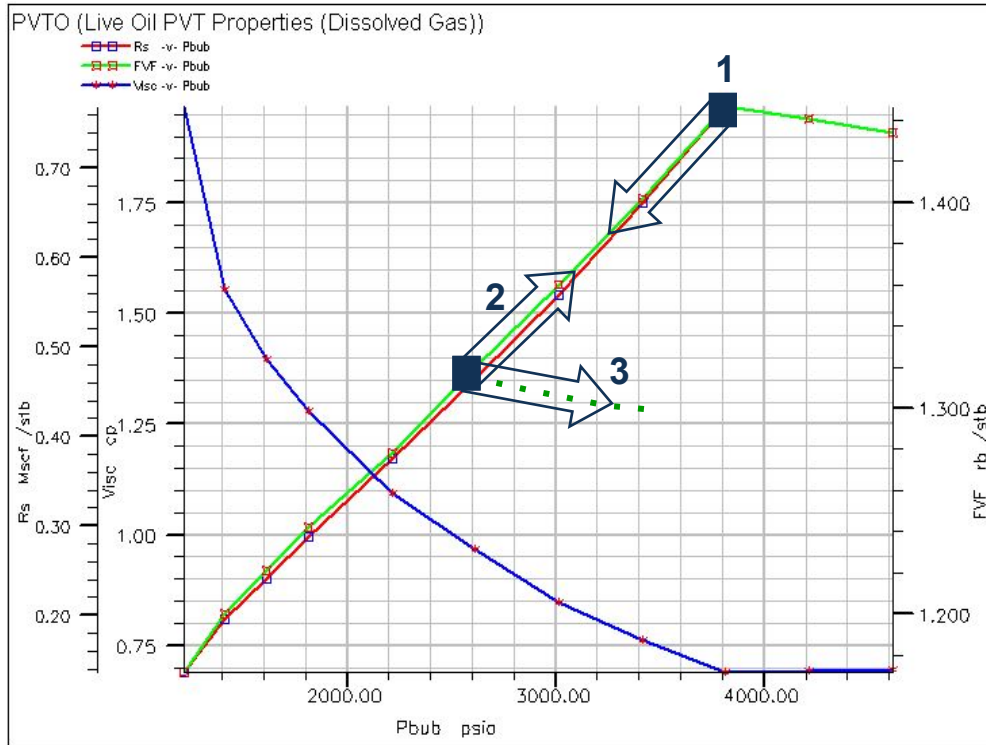
0.137	1214.7	1.1720	1.970
0.195	1414.7	1.2000	1.556
0.241	1614.7	1.2210	1.397
0.288	1814.7	1.2420	1.280
0.375	2214.7	1.2780	1.095
0.465	2614.7	1.3200	0.967
0.558	3014.7	1.3600	0.848
0.661	3414.7	1.4020	0.762
0.770	3814.7	1.4470	0.691
	4214.7	1.4405	0.694
	4614.7	1.4340	0.697 /



Насыщенная

Недонасыщенная

Поведение флюида при разгазировании



- Падение давления в ячейке ниже насыщения, разгазирование, снижение R_s
- Рост давления: свободный газ поглощается нефтью, следуя кривой насыщения R_s vs P_b
ИЛИ
- 3. Рост давления: если нет свободного газа, то в ECLIPSE интерполируется недонасыщенная кривая

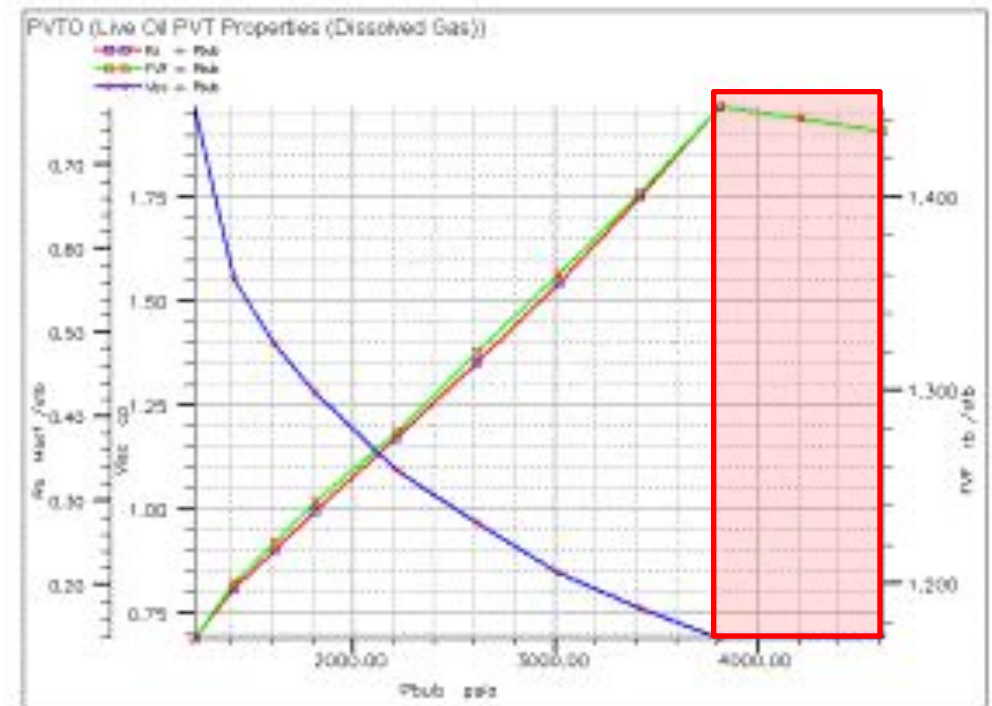
Мертвая нефть – PVDO

PVDO

--P	Bo	Mu
2500	1.260	0.50
3000	1.257	0.55
3500	1.254	0.60
4000	1.251	0.65
4500	1.248	0.70 /

RSCONST

--GOR	Pbub
0.656	2500 /



УС газа в модели нелетучей нефти

$$\rho_g^{(R)} = \frac{\rho_g^{(S)} + R_V \rho_O^{(S)}}{B_g}$$

где B_g (объёмный коэффициент):

$$B_g = \frac{V_g^{(R)}}{V_g^{(S)}}$$

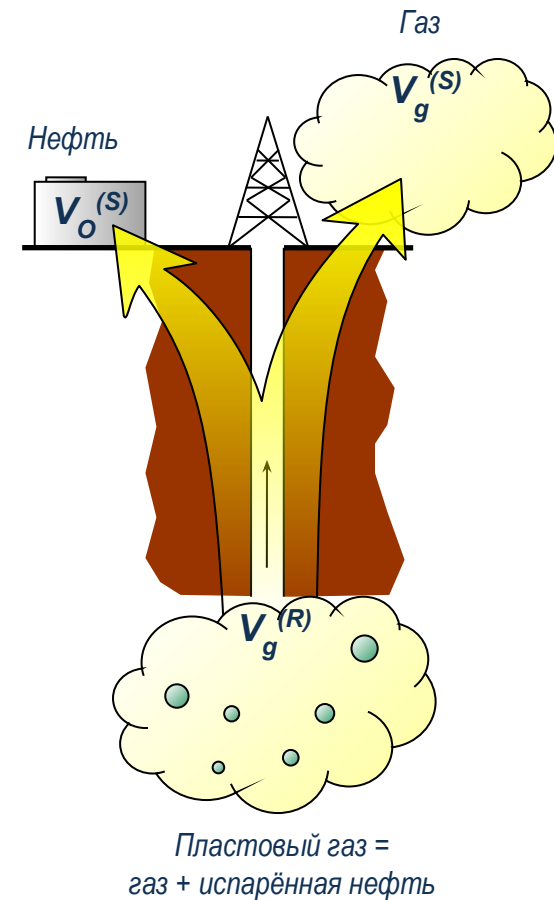
и R_V (количество испарённой нефти в пластовом газе, которое выделилось на поверхности):

$$R_V = \frac{V_O^{(S)}}{V_g^{(S)}}$$

Верхние индексы:

(R) – в пластовых условиях;

(S) – в поверхностных условиях



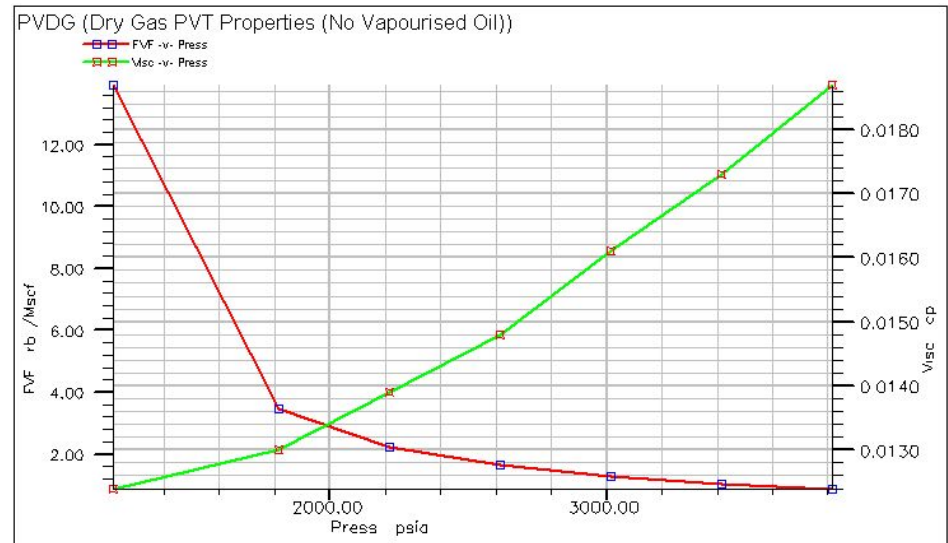
Сухой газ – PVDG

PVDG

--P	Bg	Mu
1214	13.947	0.0124
1414	7.028	0.0125
1614	4.657	0.0128
1814	3.453	0.0130
2214	2.240	0.0139
2614	1.638	0.0148
3014	1.282	0.0161 /

RVCONST

--Rv	Pd
0.0047	1214 /



Жирный газ – PVTG

PVTG

-- Pg	Rv	Bg	Mu	
60	0.00011	0.05230	0.0234	/
120	0.00012	0.01320	0.0252	/
180	0.00015	0.00877	0.0281	/
240	0.00019	0.00554	0.0318	/
300	0.00029	0.00417	0.0355	/
360	0.00049	0.00357	0.0392	/
560	0.00060	0.00356	0.0393	

/

УС воды в модели нелетучей нефти

$$\rho_{wr} = \frac{\rho_{ws}}{B_w}$$

где B_w – объёмный коэффициент:

$$B_w = \frac{V_{wr}}{V_{ws}}$$

PVTW

PVTW

--PREF	BW	CW	μW	
4000	1.03	3.0E-6	0.40	/

где PREF – заданное давление;

Bw – объемный коэффициент воды при заданном давлении;

Cw – сжимаемость воды;

μW – это вязкость воды при относительном давлении;

$$B_w(P) = \frac{B_w(P_{\text{ref}})}{1 + X + (X^2/2)}$$

where

$$X = C(P - P_{\text{ref}})$$

ECLIPSE 100 calculates the product $B_w \mu_w$ using:

$$B_w \mu_w(P) = \frac{B_w(P_{\text{ref}}) \mu_w(P_{\text{ref}})}{1 + Y + (Y^2/2)}$$

where

$$Y = (C - C_v)(P - P_{\text{ref}})$$

Item 5 The water “viscosibility”

$$C_v = \left(\frac{d\mu_w}{dP} \right) / \mu_w$$

Item 3 The water compressibility

$$C = - \left(\frac{dB_w}{dP} \right) / B_w$$

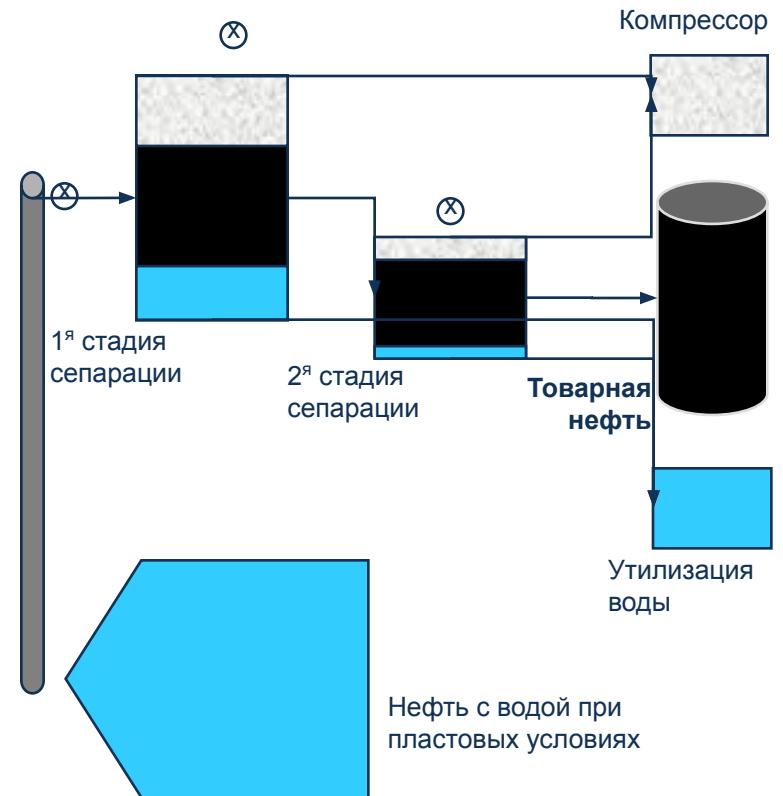
Относительные плотности

Плотности при стандартных условиях задаются одним из ключевых слов:

- DENSITY

-- нефть	вода	газ
45.00	63.02	0.07

- GRAVITY



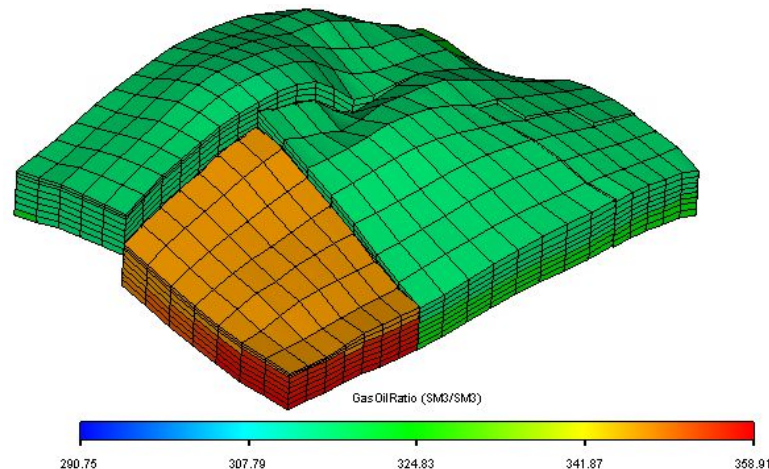
EXTRAPMS

- Это ключевое слово предписывает симулятору выдавать предупреждения при экстраполяции таблиц PVT или VFP
- Если задано недостаточно данных PVT, то экстраполяция может привести к ошибочным или нефизичным значениям!

Использование PVT- регионов

Необходимые ключевые слова:

- В RUNSPEC проверить TABDIMS
- В PROPS добавить нужные таблицы (некоторые могут быть заданы по умолчанию)
- В REGIONS добавить PVTNUM



Секция PROPS

Функции насыщенности

Назначение секции PROPS

- Секция PROPS содержит свойства пластовых флюидов и слагающих пород, зависящие от давления и насыщенности
- Требуемая информация (по каждому флюиду из RUNSPEC):
 - PVT флюида как функция давления
 - Плотность
- Информация по свойствам пород:
 - ОФП как функции насыщенности
 - Капиллярное давление как функция насыщенности
 - Сжимаемость породы как функция давления

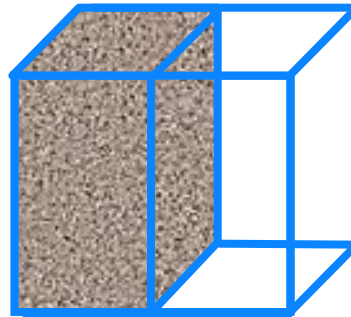
Сжимаемость породы

- Необходима для задания зависимости порового объема от давления
 - Ключевое слово ROCK

Ключевое слово **ROCK**

- Сжимаемость породы

$$C = \left(\frac{\partial V_{pore}}{\partial P} \right) / V_{pore}$$



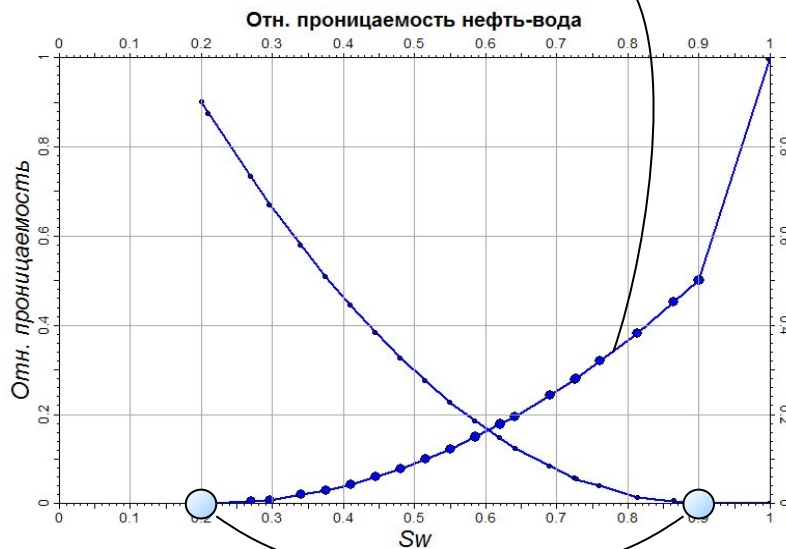
Объем ячейки
постоянный и равен
сумме порового объема
и объема пород

- Поровой объем в ECLIPSE рассчитывается так:

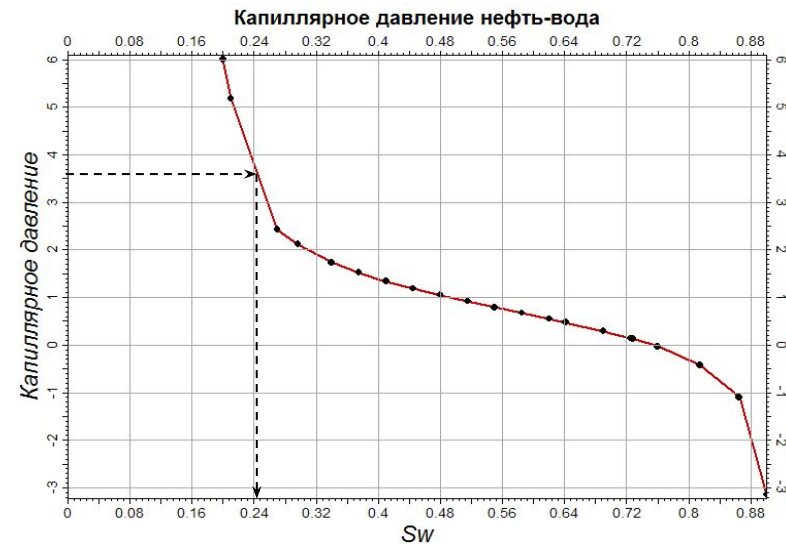
$$V_{pore}(P) = V_{pore}(P_{ref}) \left(1 + C(P - P_{ref}) + \frac{(C(P - P_{ref}))^2}{2} \right)$$

Назначение функций насыщенности

Расчёт подвижностей
флюидов



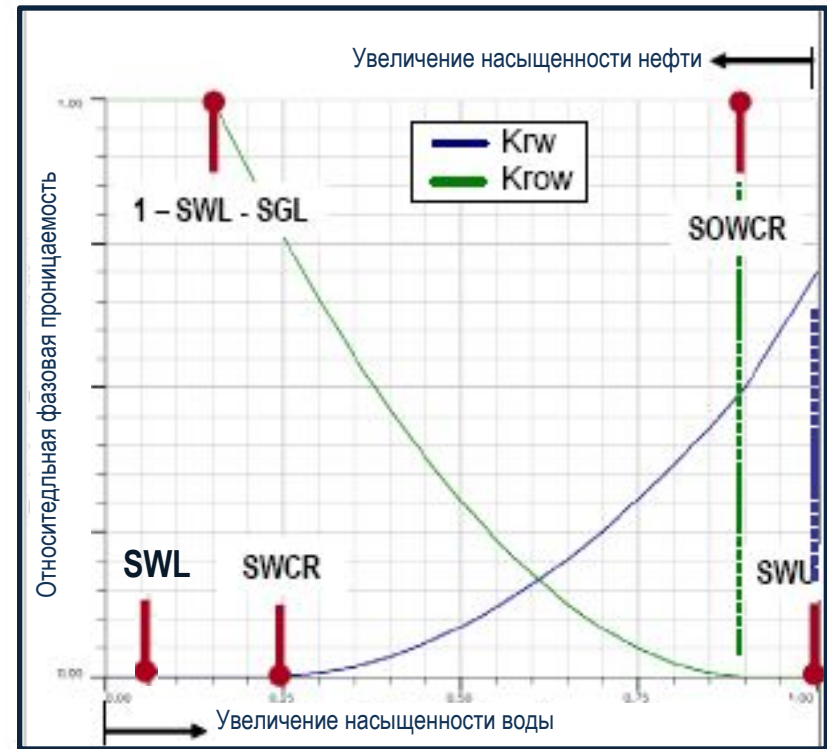
Расчёт начальных
насыщенностей каждой
фазы в каждой ячейке



Расчёт начальной
насыщенности каждой
фазы в переходных зонах

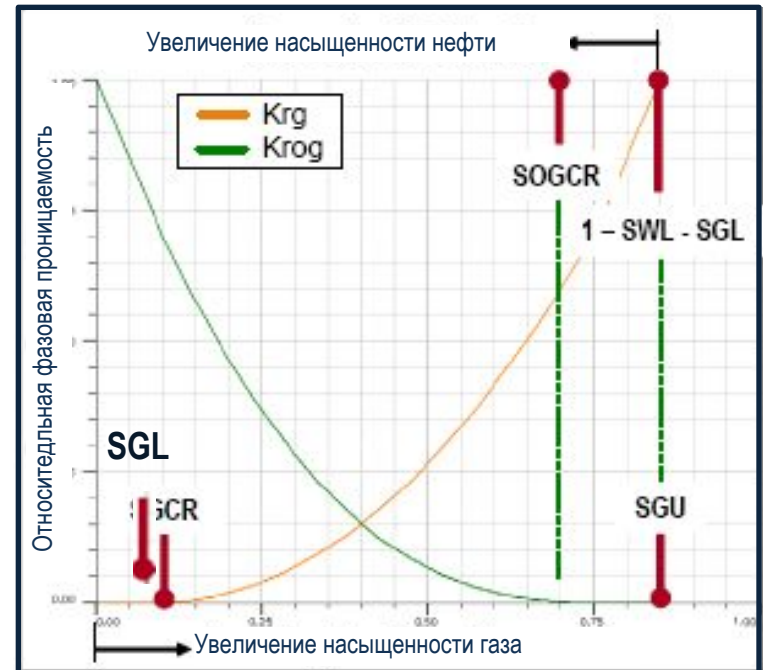
Концевые точки насыщенности (1)

- **SWL**: связанная водонасыщенность
- **SWCR**: критическая водонасыщенность
- **SWU**: максимальная водонасыщенность
- **SOWCR**: критическая насыщенность нефтью в воде



Концевые точки насыщенности (2)

- **SGL**: связанная газонасыщенность
- **SGCR**: критическая газонасыщенность
- **SGU**: максимальная газонасыщенность
- **SOGCR**: критическая нефтенасыщенность по газу



Семейства ключевых слов для задания ОФП

- **Семейство 1**

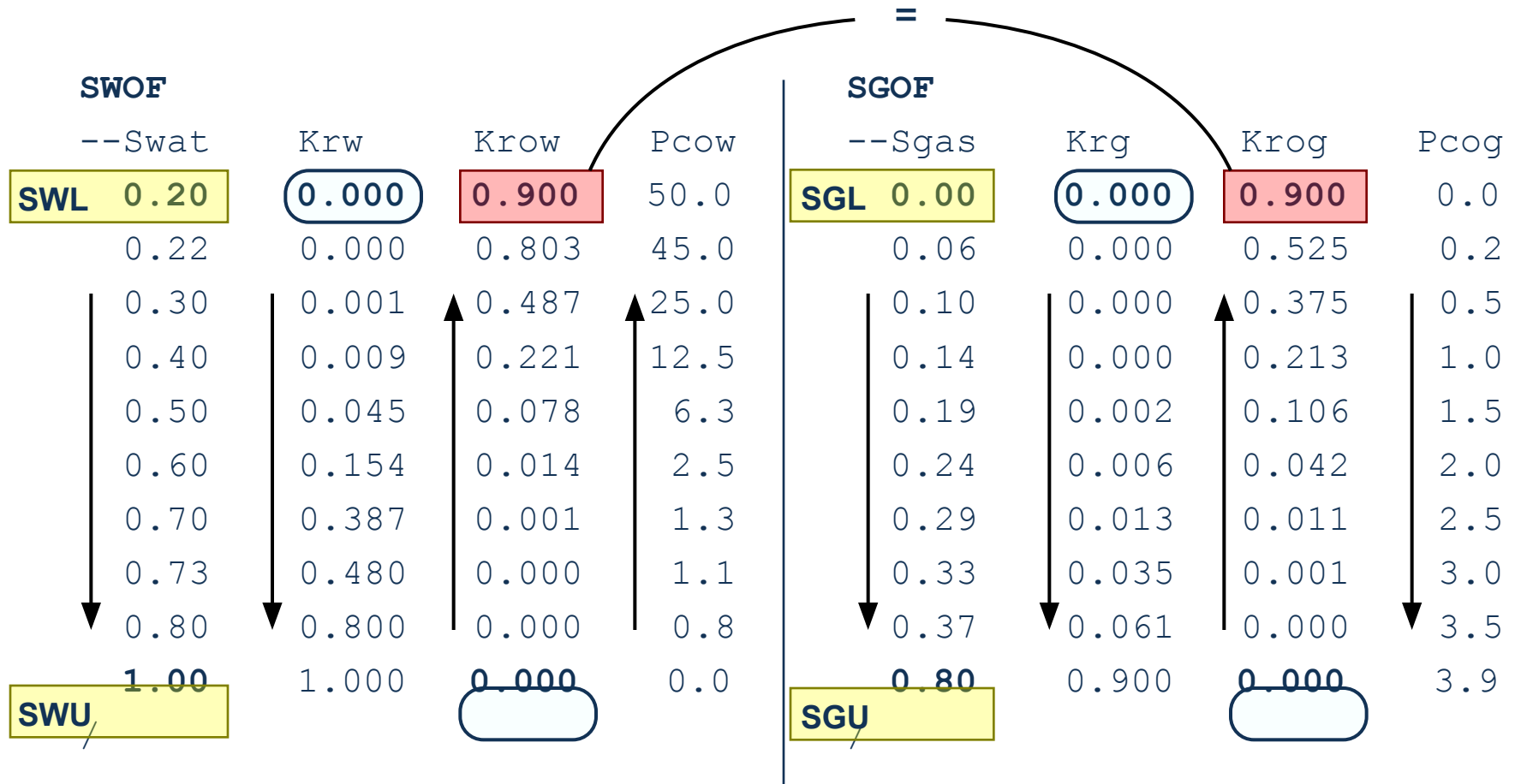
- K_{row} и/или K_{rog} задаются совместно с K_{rw} и K_{rg}
- SWOF, SGOF

- **Семейство 2**

- K_{ro} задается в отдельных таблицах в зависимости от нефтенасыщенности
- SWFN, SGFN, SOF2, etc.

! Нельзя смешивать различные семейства в одной модели

Пример использования семейства 1 SWOF, SGOF

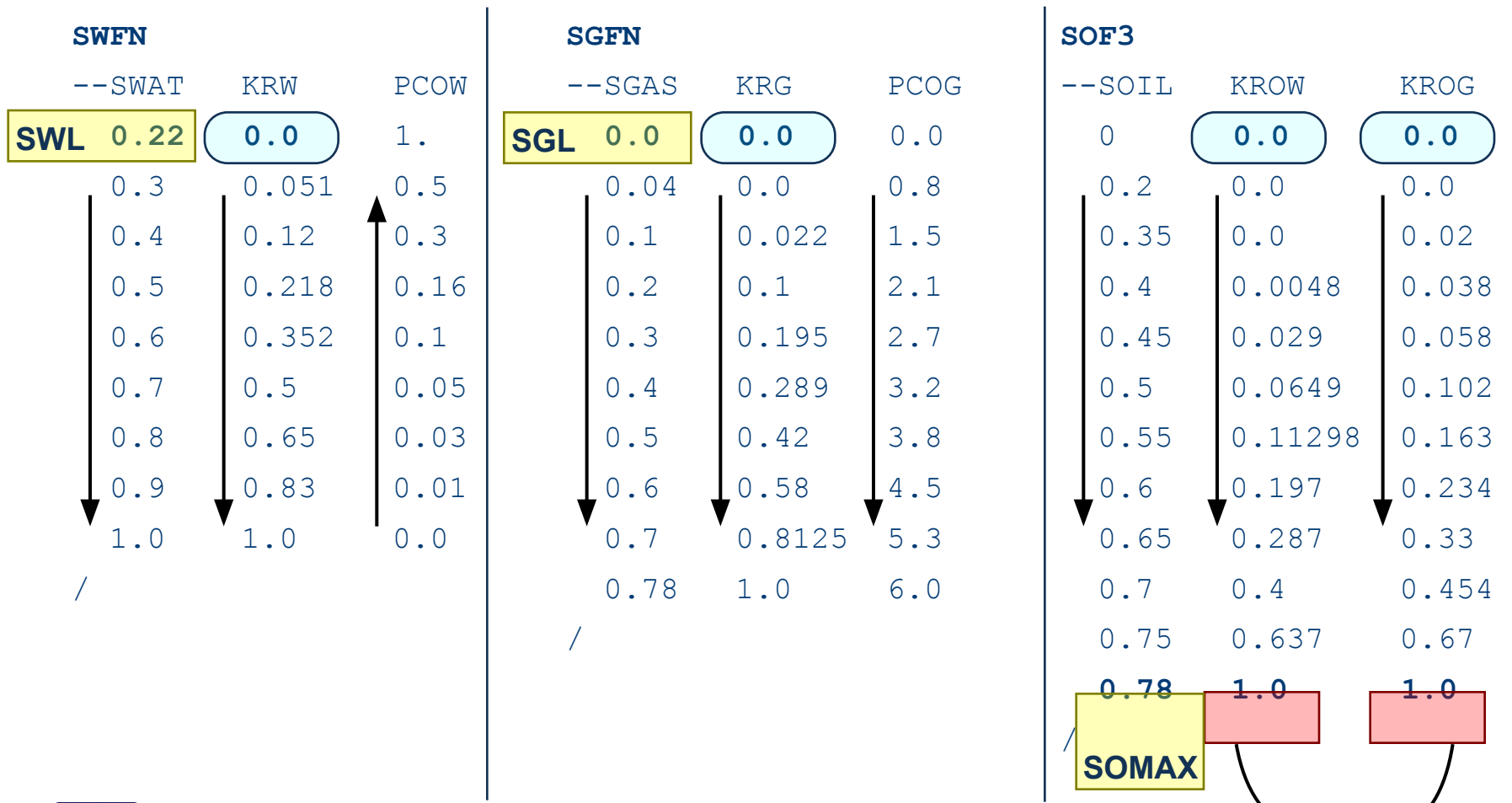


$$SGU + SWL \leq 1$$

$$SGL + SWU \leq 1$$

Пример использования семейства2

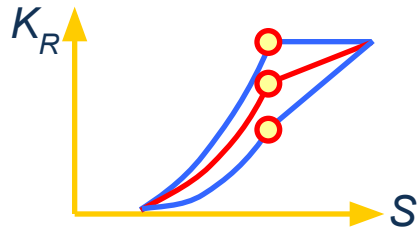
SWFN, SGFN, SOF3



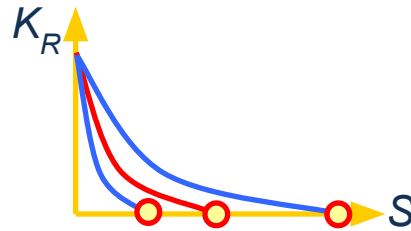
$SGL + SWL + SOMAX = 1$

= Schlumberger

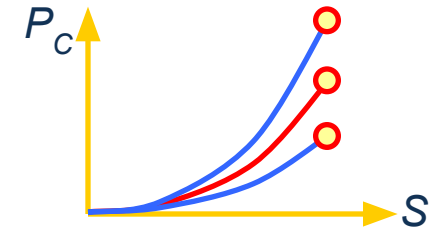
Виды масштабирования функций ОФП



Вертикальное



Горизонтальное



Масштабирование
капиллярного
давления

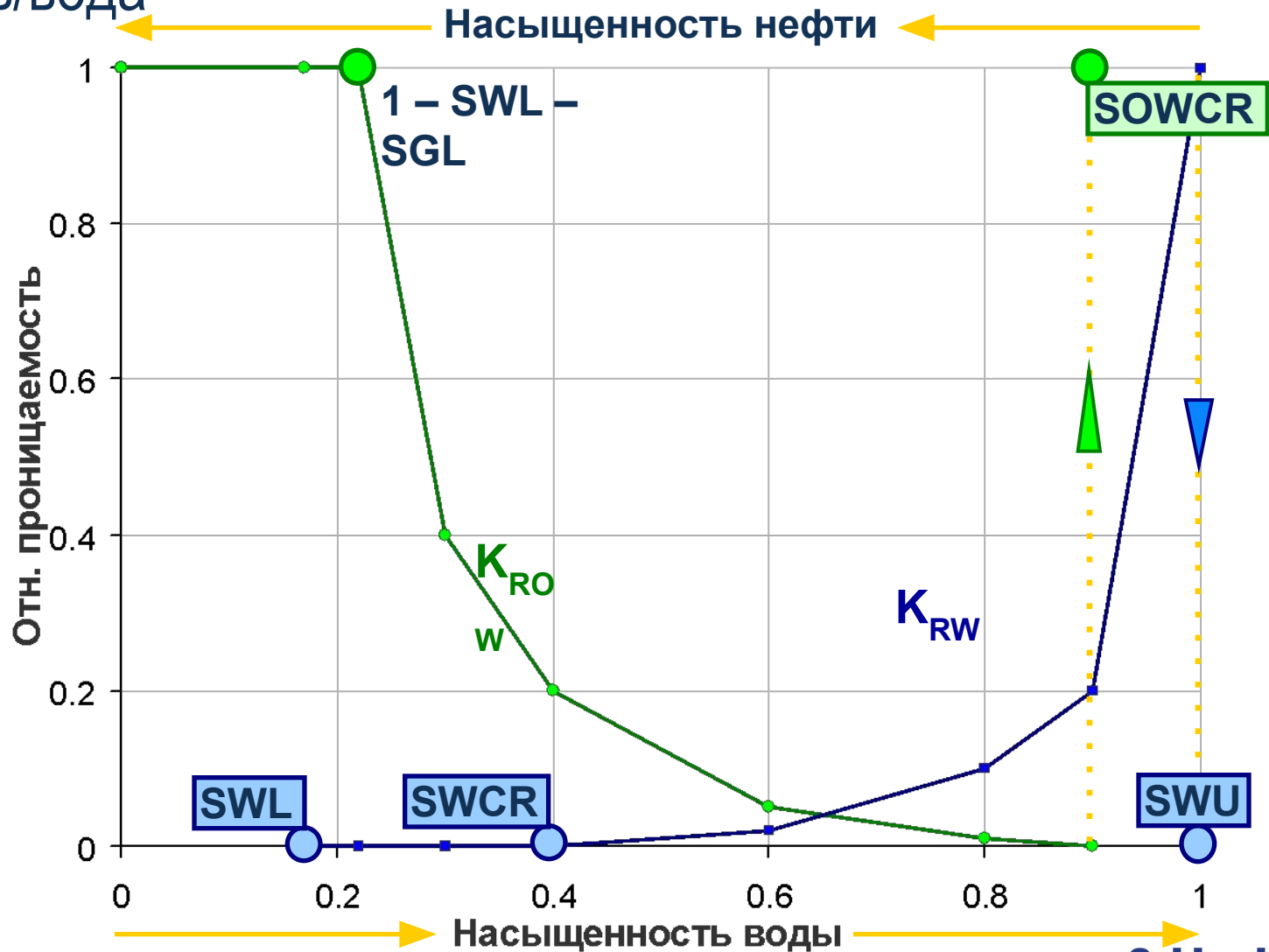
2-х точечное

Сохраняется значение отн.
проницаемости в 2-х точках кривой

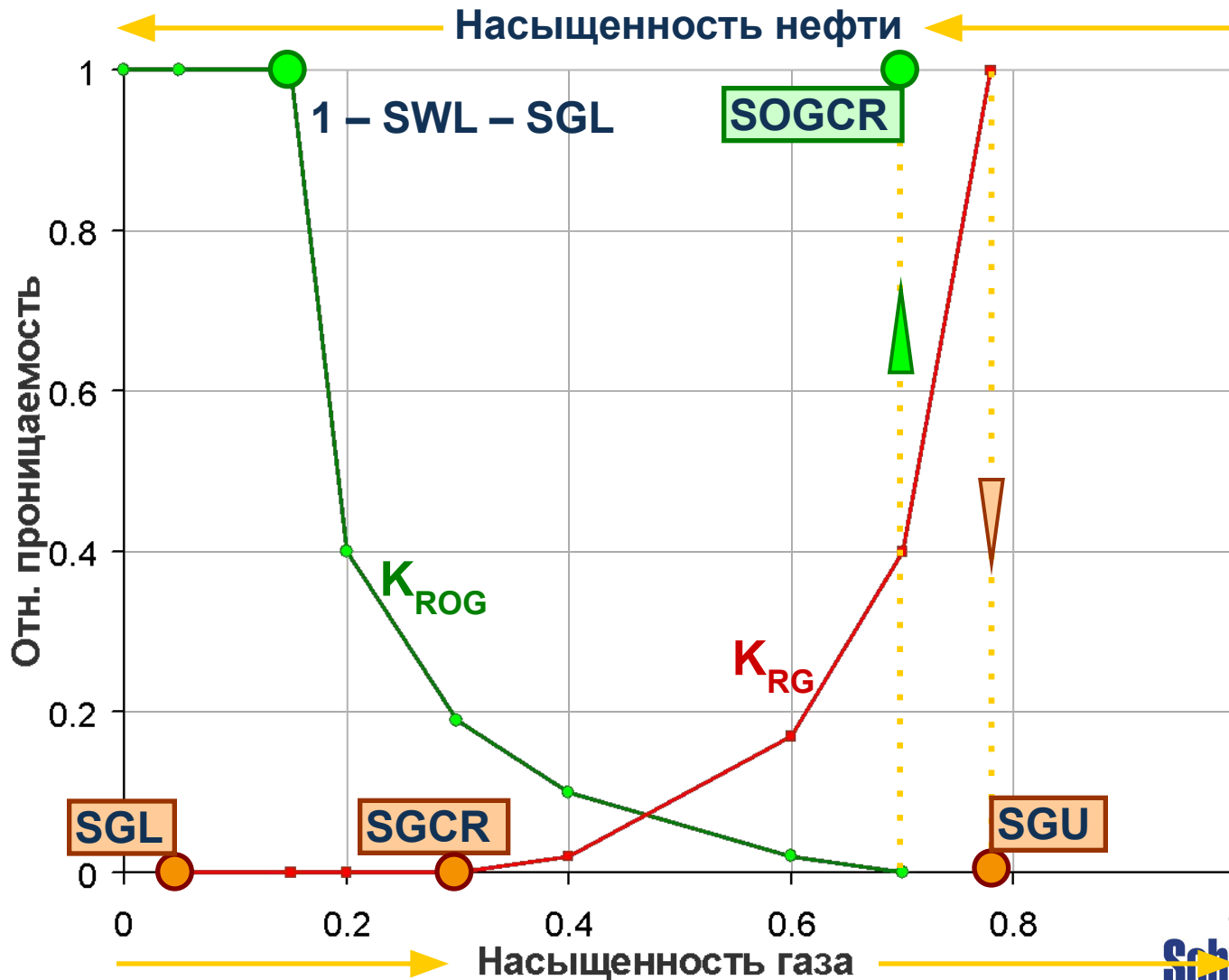
3-х точечное

Сохраняется значение отн.
проницаемости в 3-х точках кривой

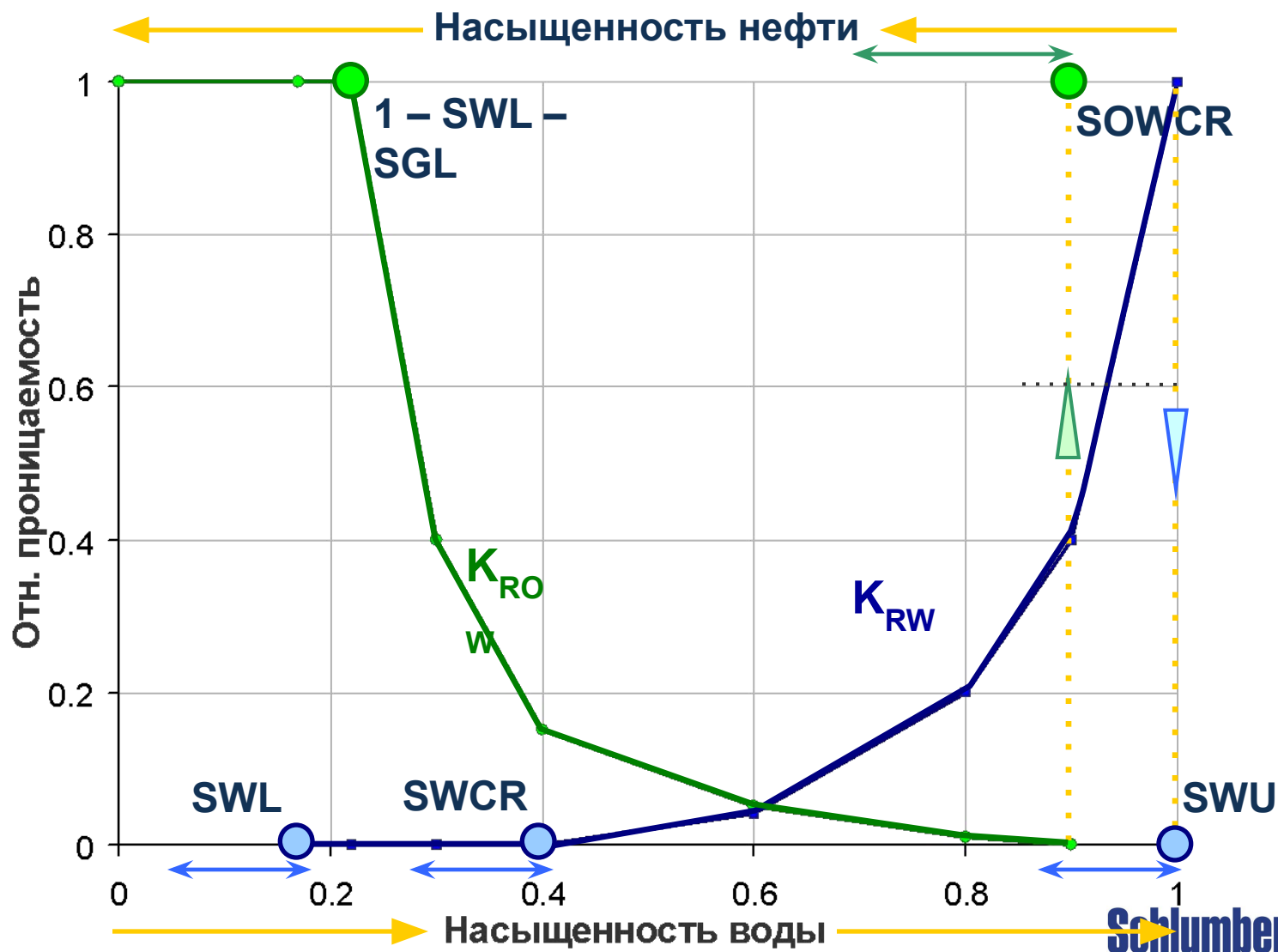
Горизонтальное масштабирование функций насыщенности: нефть/вода



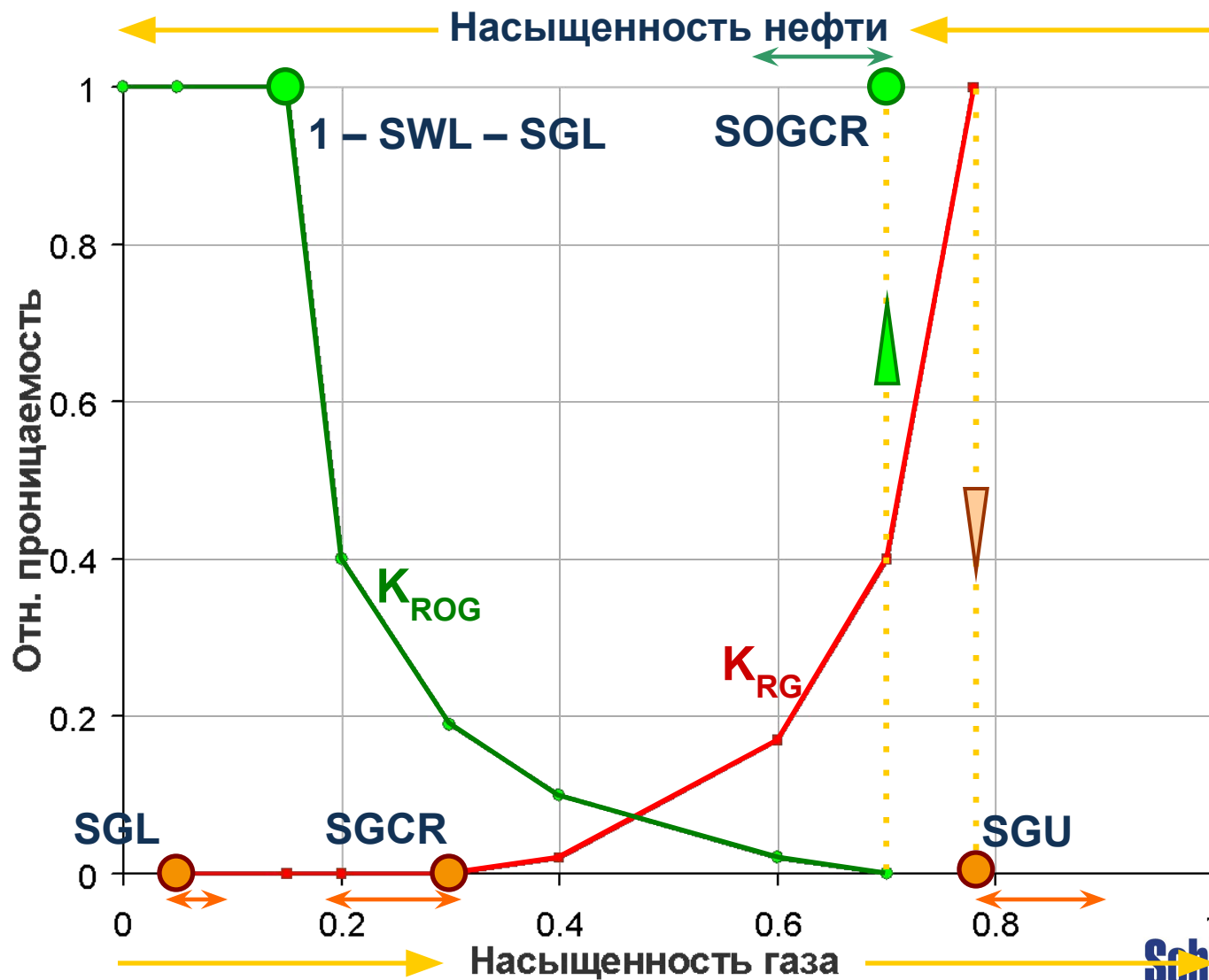
Горизонтальное масштабирование функций насыщенности: нефть/газ



2-х точечное масштабирование



2-х точечное масштабирование



Реализация на практике

1. Решить – «что масштабировать»
 - Какие конечные точки?
 - Какие кривых ОФП?
2. Задать немасштабированные функции
 - Семейством 1 или семейством 2
3. Добавить ENDSCALE в RUNSPEC
4. Добавить масштабированные конечные точки в PROPS
 - Для каждой ячейки явно или в зависимости от глубины через ENPTVD

Пример – масштабирование SWCR

SWOF

-- Sw	Krw	Krow	Pcow
0.150	0.000	1.000	0.00
0.240	0.000	0.784	0.00
0.295	0.005	0.665	0.00
0.350	0.017	0.555	0.00
0.405	0.036	0.454	0.00
0.460	0.062	0.363	0.00
0.515	0.095	0.282	0.00
0.570	0.134	0.210	0.00
0.625	0.180	0.149	0.00
0.680	0.231	0.097	0.00
0.735	0.290	0.056	0.00
0.790	0.354	0.026	0.00
0.845	0.424	0.007	0.00
0.900	0.500	0.000	0.00
1.000	0.700	0.000	0.00

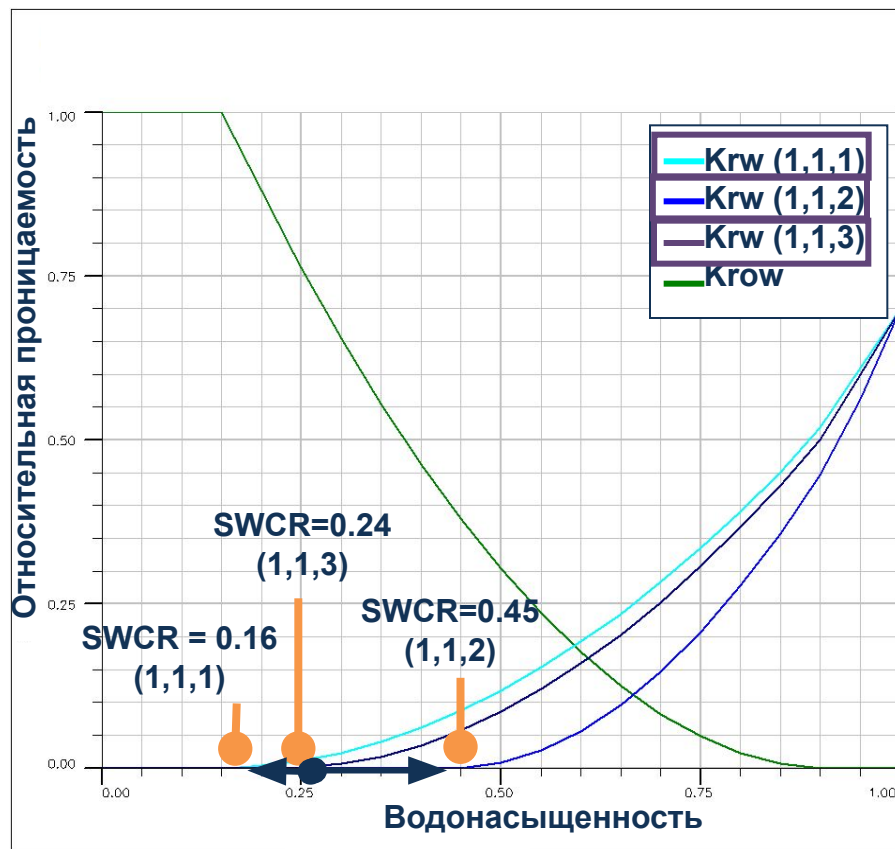
/

BOX

1 1 1 1 1 2 /

SWCR

0.16 **0.45** /



ECLIPSE

Schlumberger

Пример – масштабирование SWL, SOWCR (1)

SWOF

0.150	0.000	1.000	32.43
0.240	0.000	0.784	15.01
0.295	0.005	0.665	10.48
0.350	0.017	0.555	7.66
0.405	0.036	0.454	5.76
0.460	0.062	0.363	4.41
0.515	0.095	0.282	3.41
0.570	0.134	0.210	2.65
0.625	0.180	0.149	2.05
0.680	0.231	0.097	1.57
0.735	0.290	0.056	1.17
0.790	0.354	0.026	0.85
0.845	0.424	0.007	0.57
0.900	0.500	0.000	0.34
1.000	0.700	0.000	0.00

/

BOX

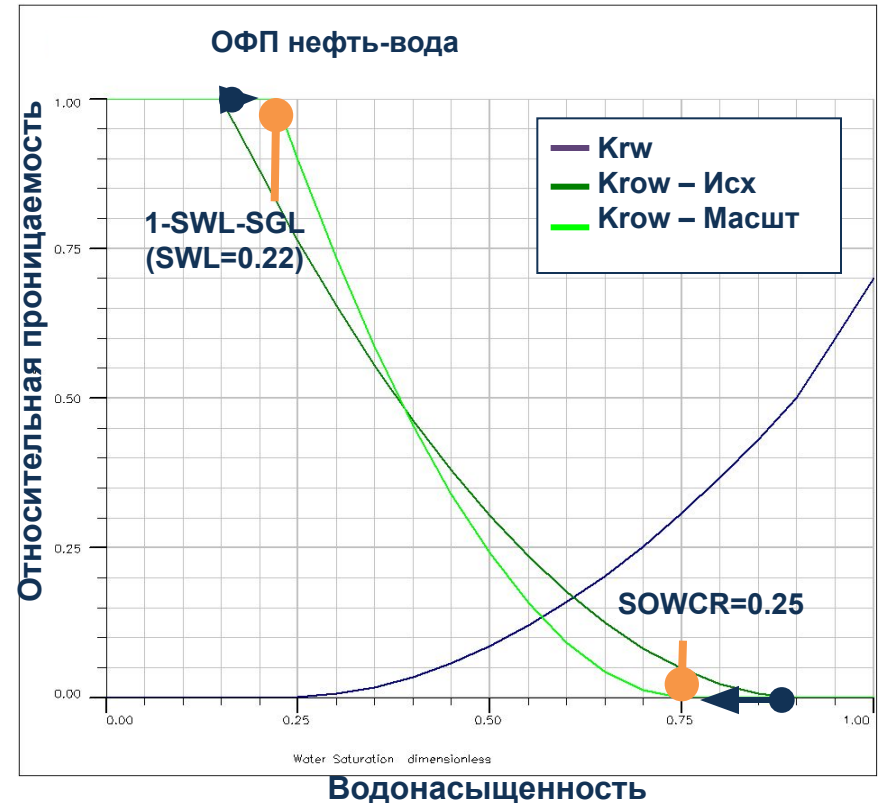
1 1 1 1 3 3 /

SWL

0.22 /

SOWCR

0.25 /



ECLIPSE

Schlumberger

Трехточечное масштабирование (2)

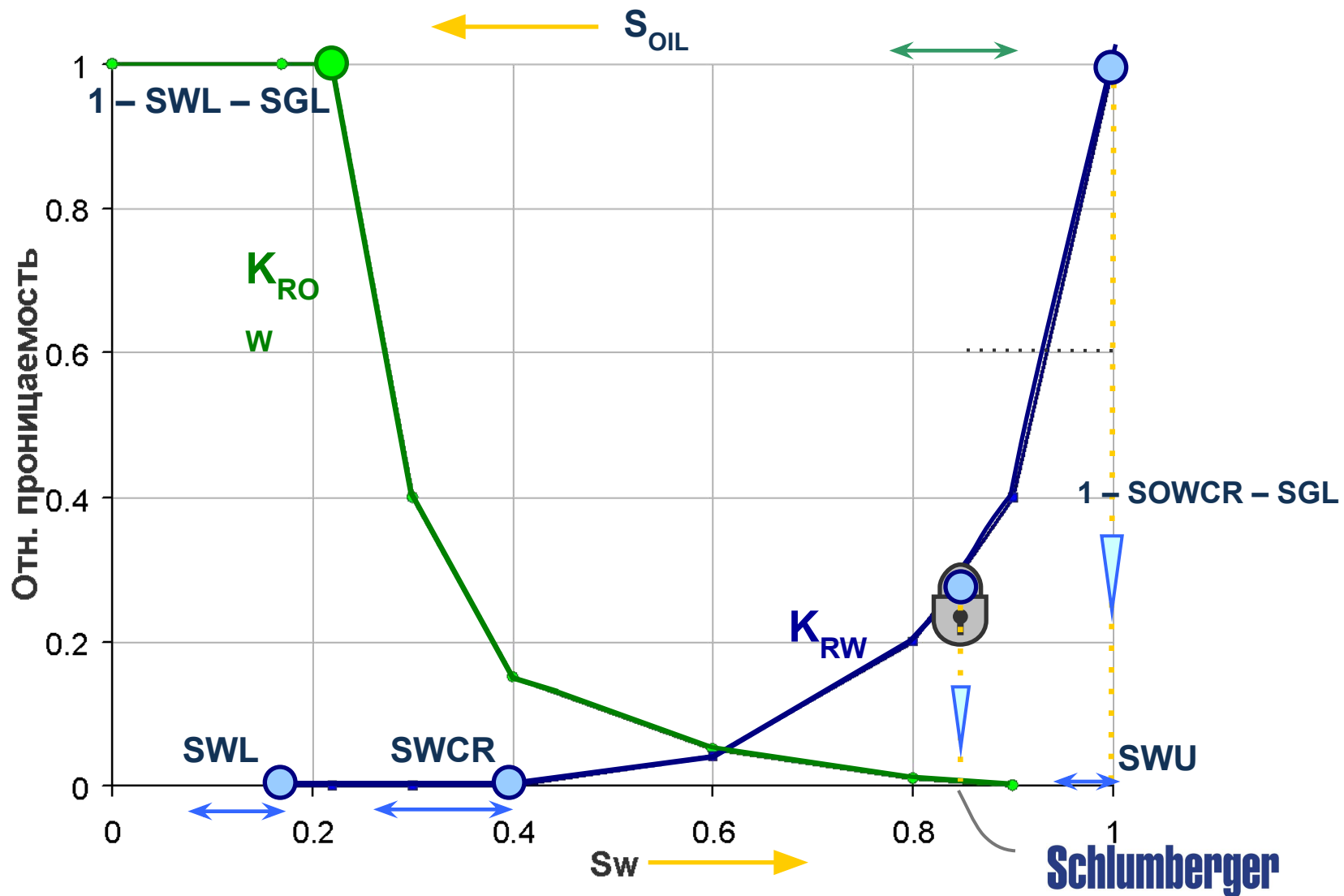
Это альтернатива двухточечному масштабированию

- Дополнительная точка – остаточная насыщенность по фазе
- Относительные проницаемости сохраняются по обе стороны двухфазного региона подвижности

■ Реализация

1. Решить – «что масштабировать»
2. Задать исходные функции насыщенности
3. Добавить ENDSCALE в RUNSPEC, **SCALECRS** в PROPS
4. Добавить масштабированные конечные точки в PROPS

3-х точечное масштабирование



Пример трехточечного масштабирования

SCALECRS

YES /

SWOF

0.150	0.000	1.000	0.00
0.240	0.000	0.784	0.00
0.295	0.005	0.665	0.00
0.350	0.017	0.555	0.00
0.405	0.036	0.454	0.00
0.460	0.062	0.363	0.00
0.515	0.095	0.282	0.00
0.570	0.134	0.210	0.00
0.625	0.180	0.149	0.00
0.680	0.231	0.097	0.00
0.735	0.290	0.056	0.00
0.790	0.354	0.026	0.00
0.845	0.424	0.007	0.00
0.900	0.500	0.000	0.00
1.000	0.700	0.000	0.00

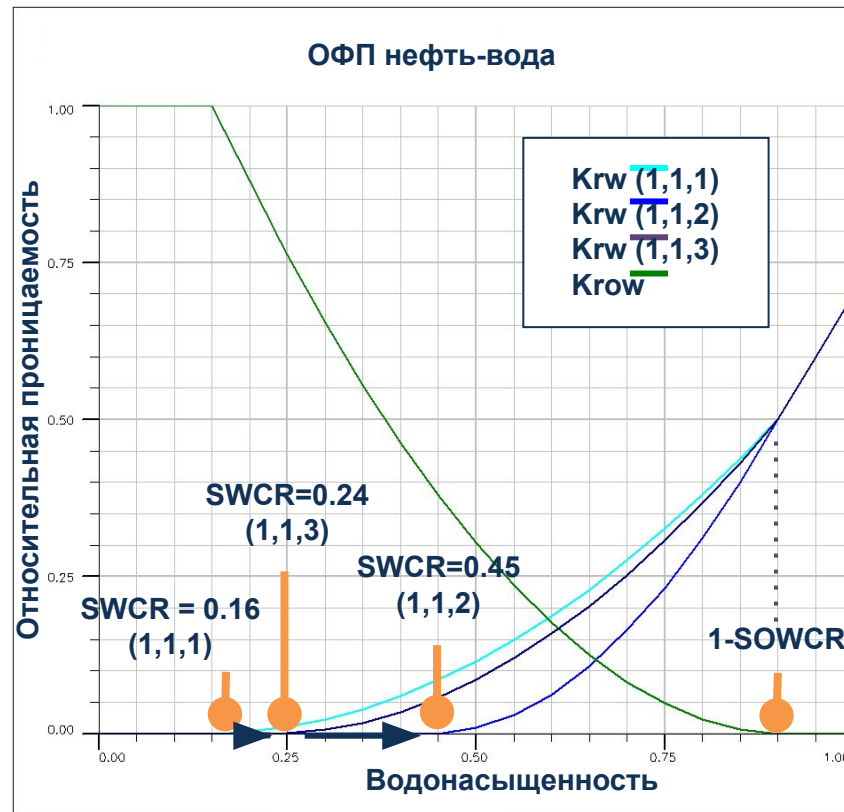
/

BOX

1 1 1 1 1 2 /

SWCR

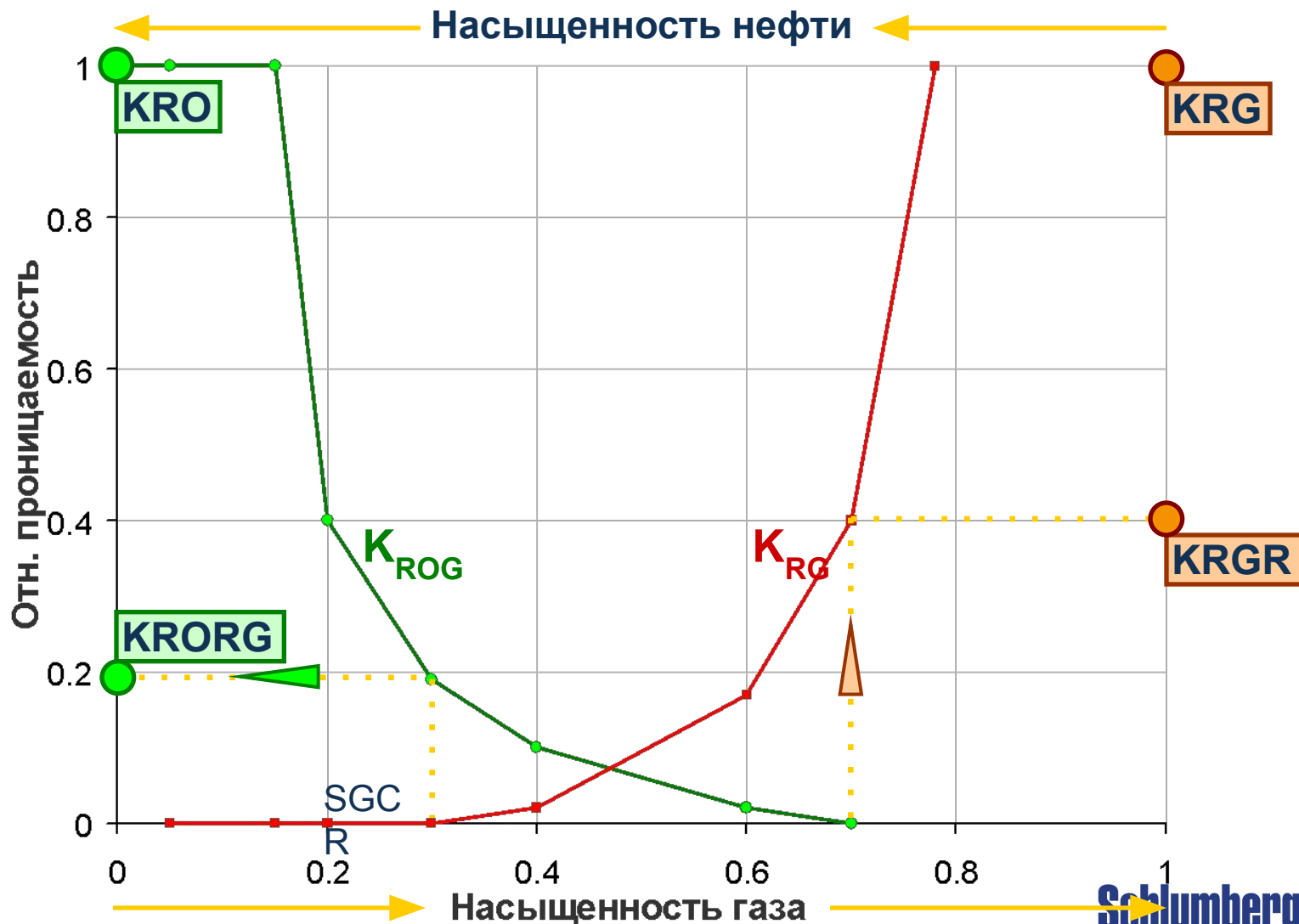
0.16 0.45 /



ECLIPSE

Schlumberger

Вертикальное масштабирование функций насыщенности: нефть/газ



Пример масштабирования SWCR и KRWR

SWOF

0.150	0.000	1.000	0.00
0.240	0.000	0.784	0.00
0.295	0.005	0.665	0.00
0.350	0.017	0.555	0.00
0.405	0.036	0.454	0.00
0.460	0.062	0.363	0.00
0.515	0.095	0.282	0.00
0.570	0.134	0.210	0.00
0.625	0.180	0.149	0.00
0.680	0.231	0.097	0.00
0.735	0.290	0.056	0.00
0.790	0.354	0.026	0.00
0.845	0.424	0.007	0.00
0.900	0.500	0.000	0.00
1.000	0.700	0.000	0.00 /

BOX

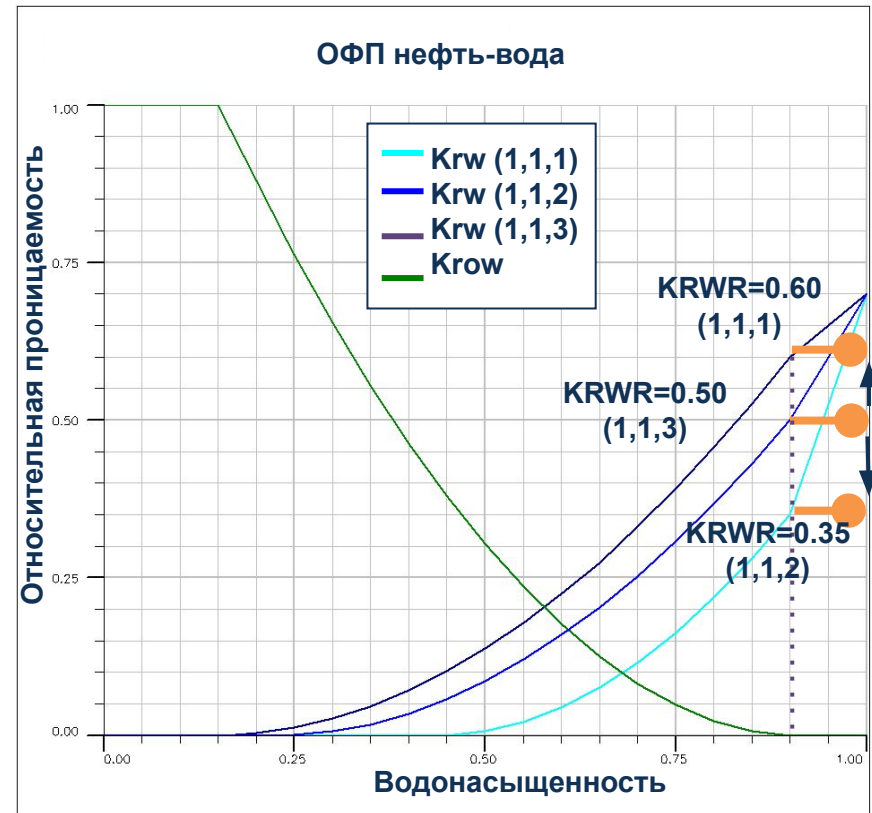
1 1 1 1 1 2 /

SWCR

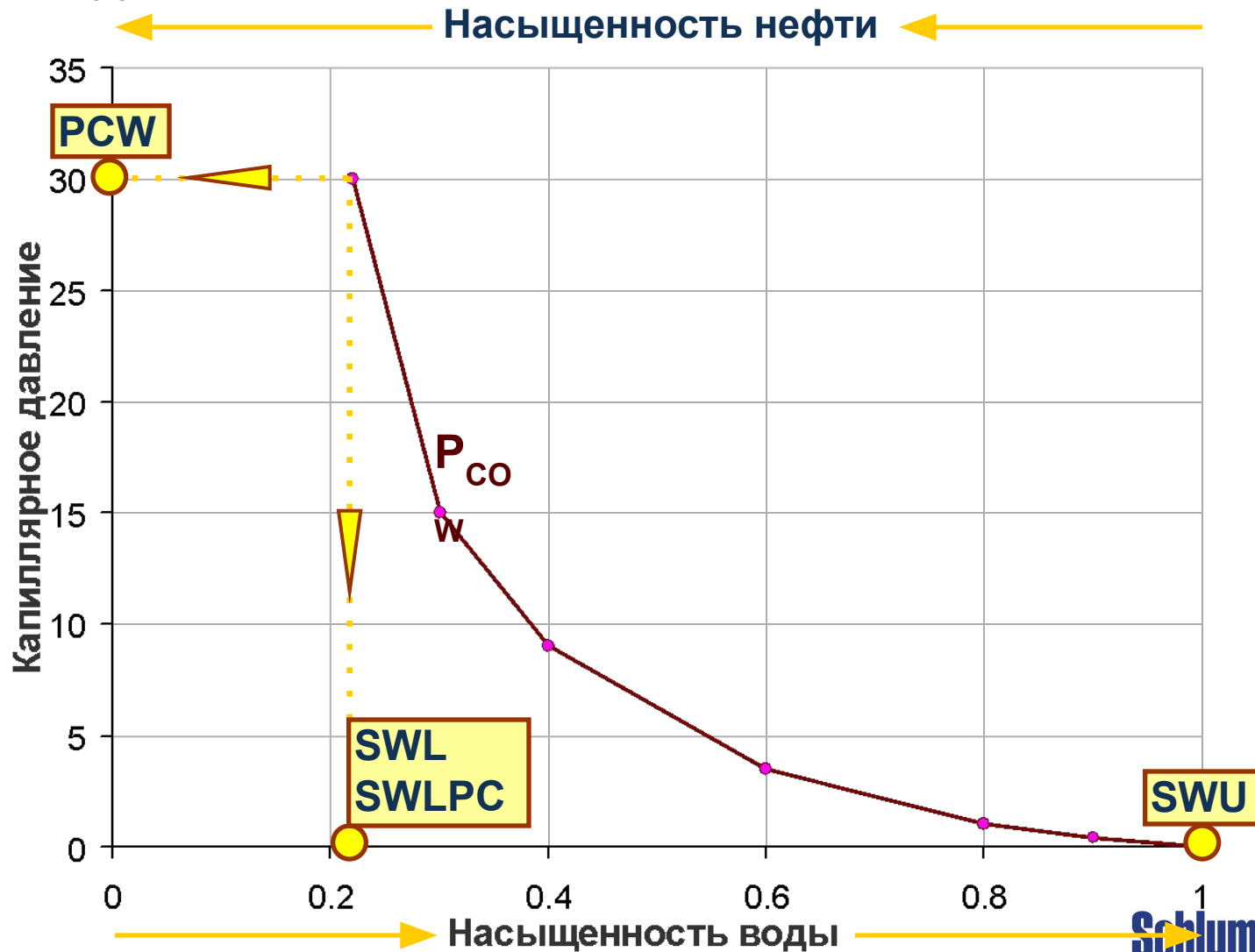
0.16 0.45 /

KRWR

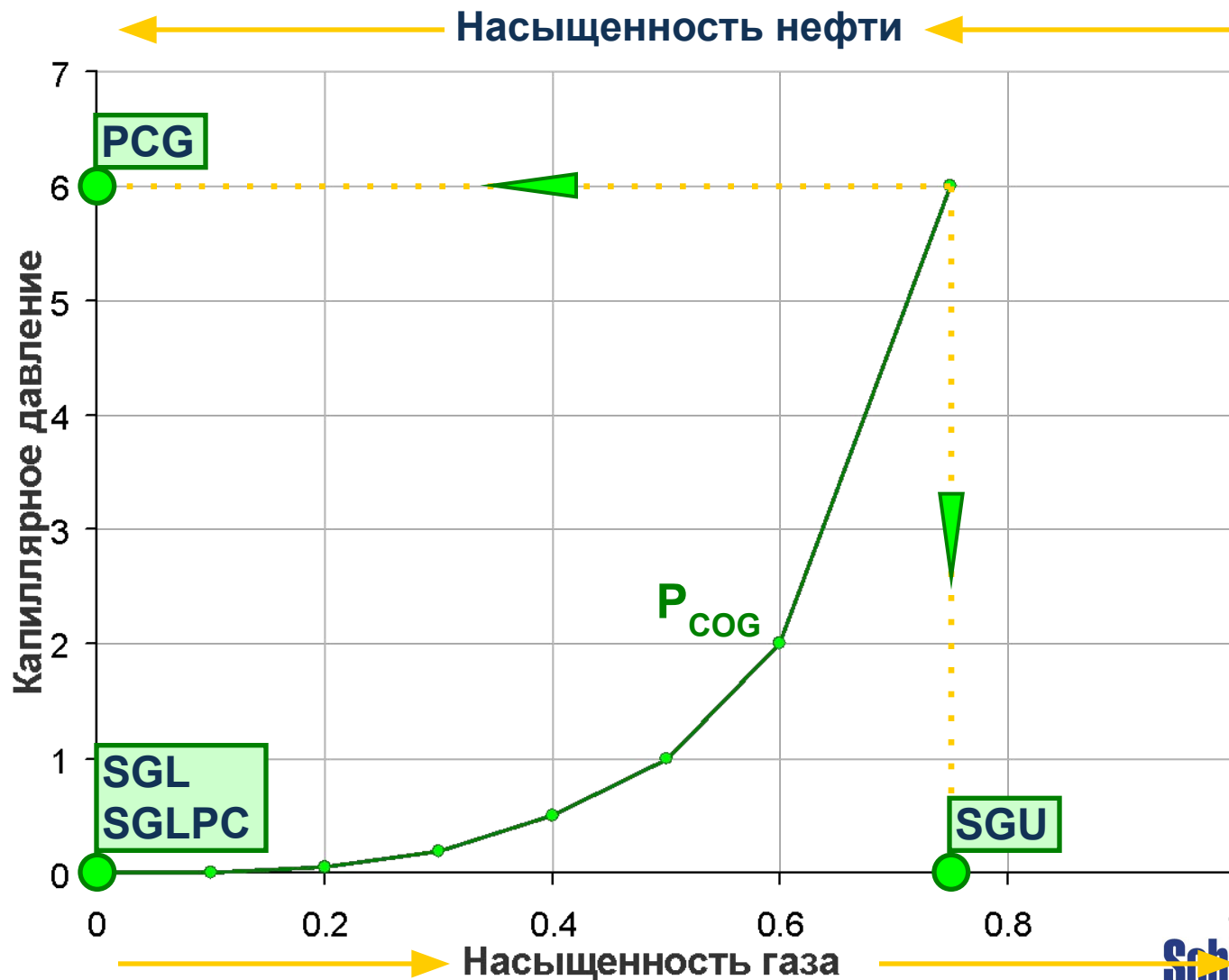
0.60 0.35 /



Масштабирование функций капиллярного давления: нефть/вода



Масштабирование функций капиллярного давления: нефть/газ



Пример масштабирования SWL и PCW

SWOF

0.150	0.000	1.000	32.43
0.240	0.000	0.784	15.01
0.295	0.005	0.665	10.48
0.350	0.017	0.555	7.66
0.405	0.036	0.454	5.76
0.460	0.062	0.363	4.41
0.515	0.095	0.282	3.41
0.570	0.134	0.210	2.65
0.625	0.180	0.149	2.05
0.680	0.231	0.097	1.57
0.735	0.290	0.056	1.17
0.790	0.354	0.026	0.85
0.845	0.424	0.007	0.57
0.900	0.500	0.000	0.34
1.000	0.700	0.000	0.00 /

BOX

1 1 1 1 3 3 /

SWL

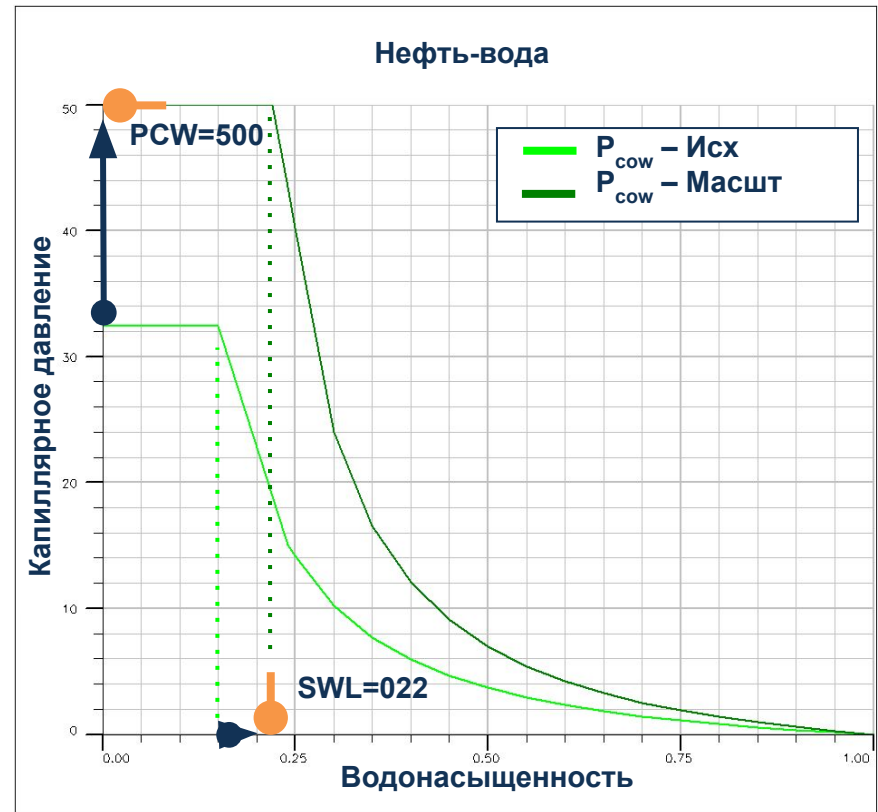
0.22 /

SOWCR

0.25 /

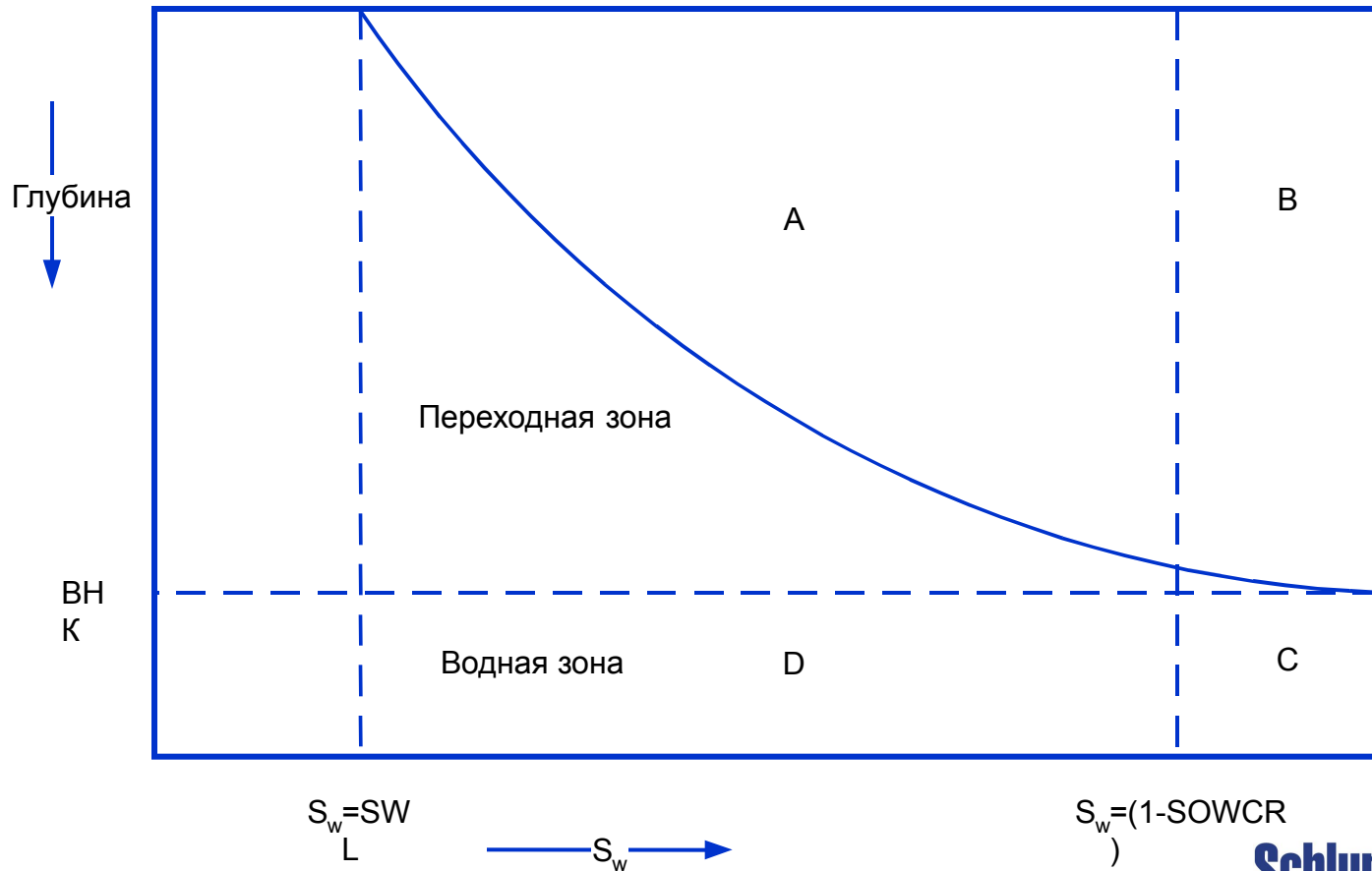
PCW

50.0 /



Коррекция подвижных флюидов

Коррекция флюидов требует
RUNSPE
EQLOPTS
'MOBILE' /



Ключевое слово TZONE

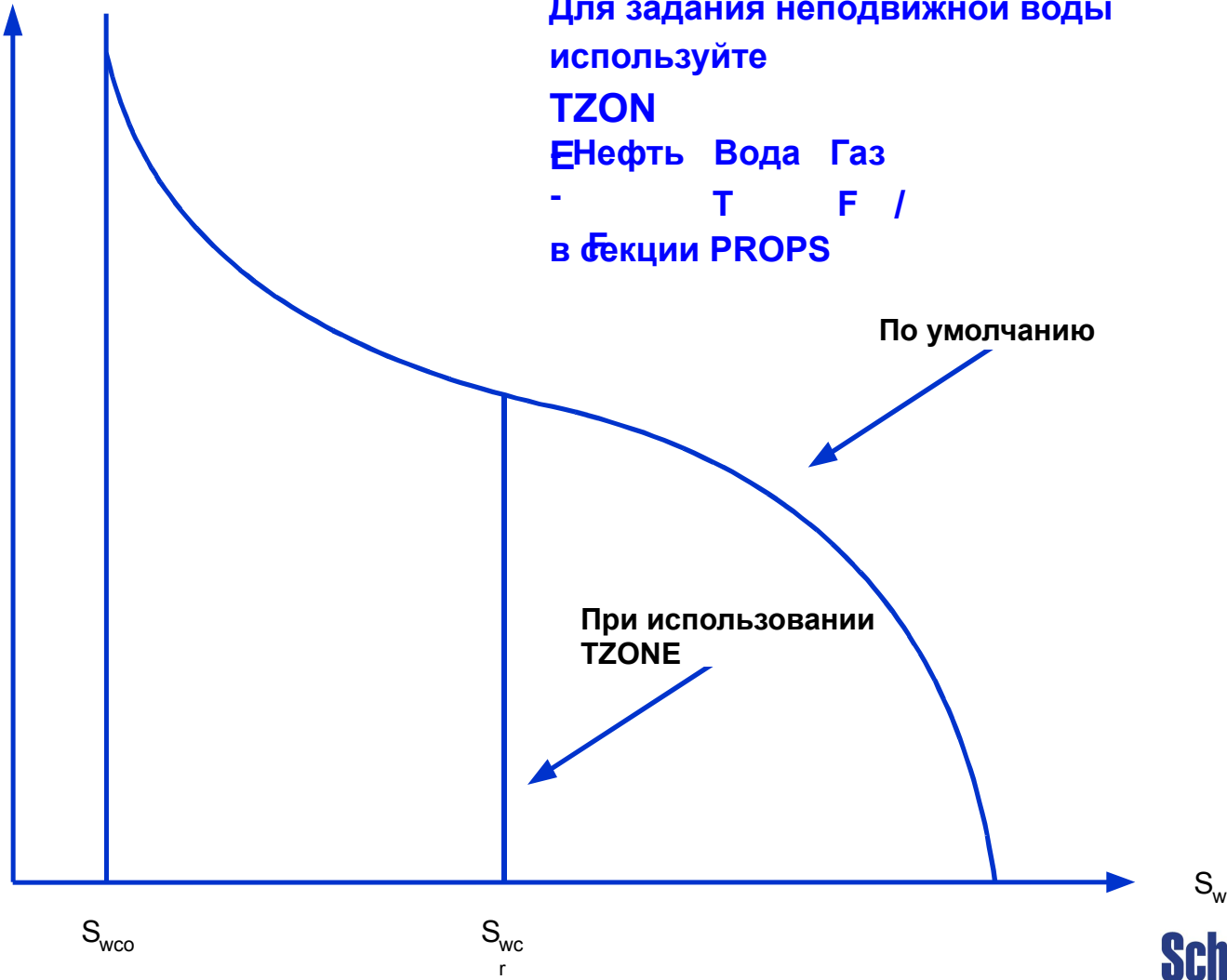
Для задания неподвижной воды
используйте

TZON

E Нефть **В**ода **Г**аз

- **T** **F** /

в функции PROPS



Управление выводом результатов

FILLEPS

- Все конечные точки насыщенности выводятся в INIT-файл

EPSDBGS/EPSDEBUG

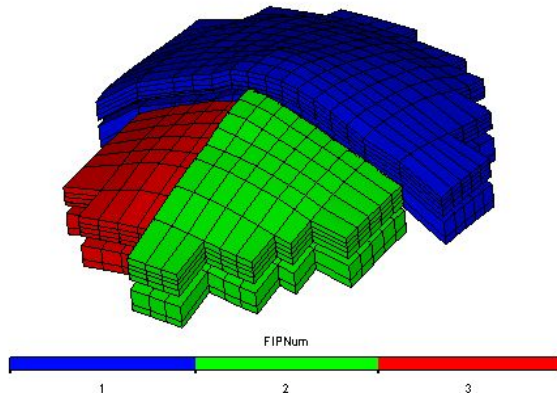
- Вывод масштабированных таблиц в DEBUG-файл для указанных ячеек

Секция REGIONS

Назначение секции REGIONS

- Разделение месторождения на области с целью:
 - Задания различных параметров пласта
 - Создания отчетов
- Примеры:
 - Различные PVT свойства и параметры балансировки могут присваиваться областям сетки, разделенных непроводящим сбросом
 - Составление отчетов о начальных запасах флюидов в ограниченных разломами блоках
- Секция REGIONS опциональна

Цель: Создание отчетов



FIPNUM (секция **REGIONS**)

В секции **SOLUTION**:

RPTSOL

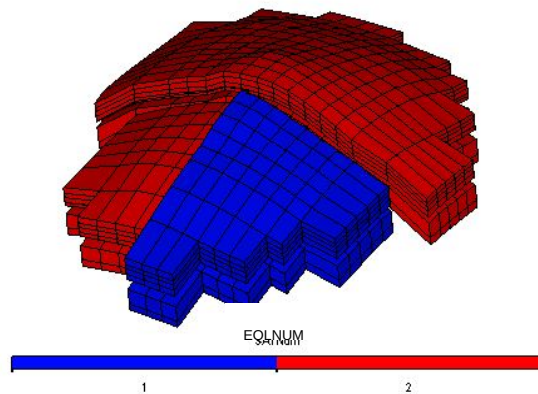
FIP=2 /

```
-----
: FIPNUM REPORT REGION 1 :
: PAV = 3629.79 PSIA :
: PORV= 192784543. RB :
:-----
: OIL STB VAPOUR TOTAL :
:-----
:CURRENTLY IN PLACE : 364855853. 364855853. 1335222064. :
:-----
:OUTFLOW TO OTHER REGIONS : 4365020. 4365020. 97890. :
:OUTFLOW THROUGH WELLS : 19095654. -15494802. :
:ANALYTIC AQUIFER INFLUX : 1928764. :
:MATERIAL BALANCE ERROR. : 1491. -53. :
:-----
:ORIGINALLY IN PLACE : 388318018. 388318018. 1317896335. :
:-----
:OUTFLOW TO REGION 2 : 2245978. 2245978. -621075. :
:OUTFLOW TO REGION 3 : 2119043. 2119043. 718965. :
:-----

-----
: FIPNUM REPORT REGION 2 :
: PAV = 3899.44 PSIA :
: PORV= 686699002. RB :
:-----
: OIL STB VAPOUR TOTAL :
:-----
:CURRENTLY IN PLACE : 79838642. 79838642. 561070250. :
:-----
:OUTFLOW TO OTHER REGIONS : -6481321. -6481321. 108410. :
:OUTFLOW THROUGH WELLS : 13170759. -9723596. :
:ANALYTIC AQUIFER INFLUX : 30765. :
:MATERIAL BALANCE ERROR. : -1814. -531. :
:-----
:ORIGINALLY IN PLACE : 86526266. 86526266. 551416118. :
:-----
For Help, press F1
```

Теперь PRT файл показывает первоначальные запасы флюидов, а также запасы на каждом отчетном шаге

Цель: Различные свойства пласта

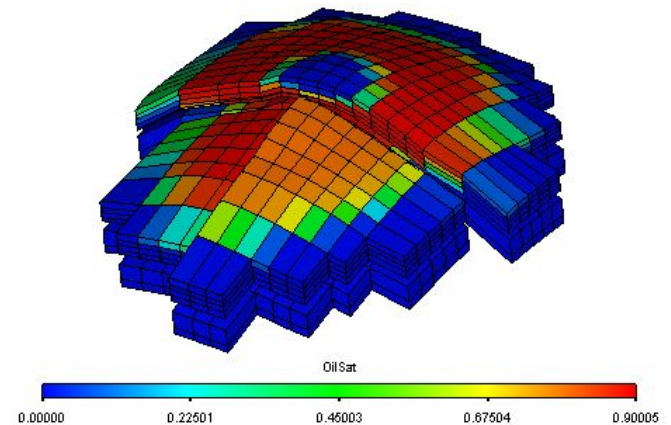


- Свойство EQLNUM (в данном случае регионы с различными контактами)
- Таблицы EQUIL связаны с регионами EQLNUM
- Результирующее начальное распределение нефтенасыщенности

SOLUTION

EQUIL 2 TABLES

```
7100 381470 7500 0 7100 0 1 0 5 /  
8000 414539 7550 0 7000 0 1 0 5 /  
/
```



Порядок ключевых слов в секции REGIONS(1)

```
RUNSPEC  
REGDIMS  
10 2 /
```

Выделяем память в секции
RUNSPEC

REGIONS

```
EQUALS  
'FIPNUM' 1 /  
'FIPNUM' 2 11 20 /  
/
```

Задаем 2 региона подсчета
запасов

Используйте ключевые слова -
операторы (EQUALS, COPY,
ADD, и тд)

```
FIPLAYER  
100*1  
100*2  
100*3  
100*4  
100*5  
100*6  
100*7  
100*8  
100*9  
100*10 /
```

Задайте номер для каждой
ячейки

Задаем 10 дополнительных
регионов подсчета запасов

Ключевые слова секции REGIONS

- Часто используемые → FIPNUM
SATNUM
PVTNUM
EQLNUM
- Специальные → FIPXXXXX
(например, FIPLAYER, FIPEXPL)
- Операторы → EQUALS, ADD, COPY, и т.д.
- Исключения (в секции GRID) → FLUXNUM

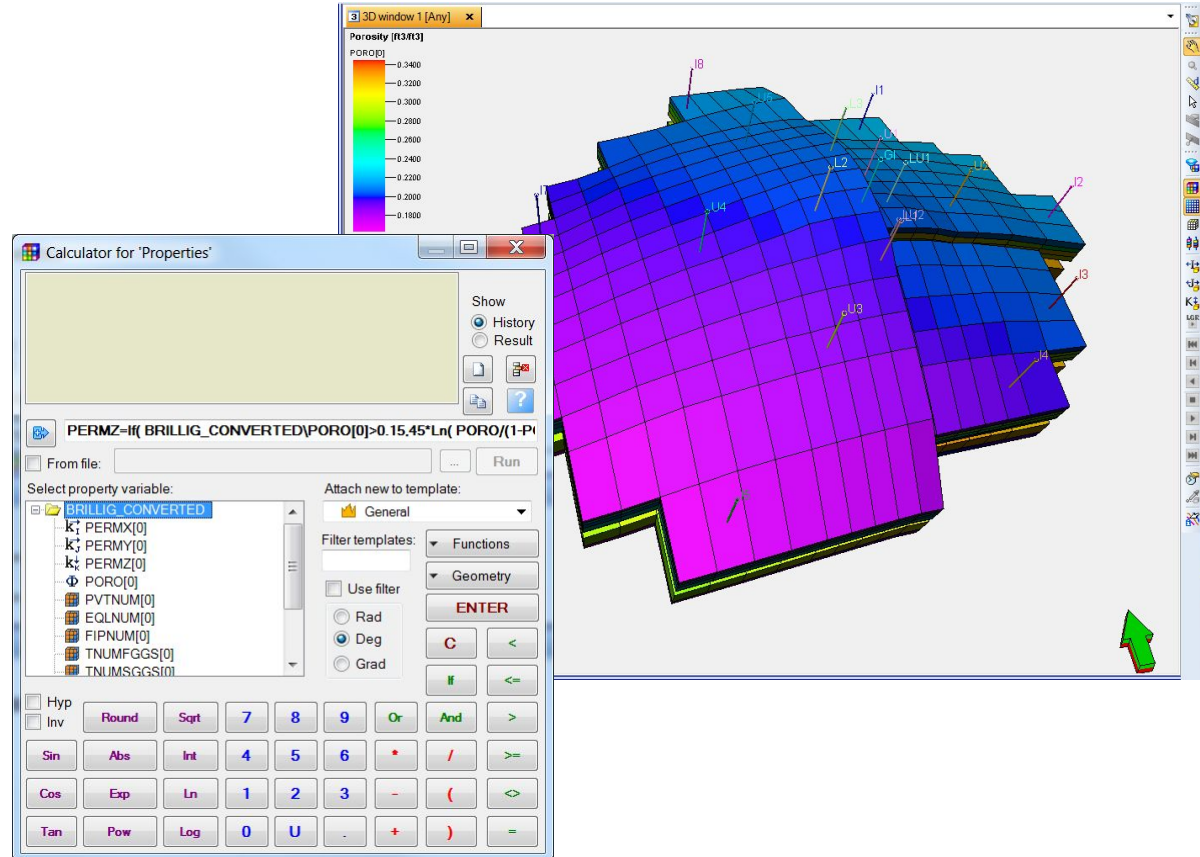
Контроль вывода

- Для вывода в PRT файл:
 - RPTREGS в секции REGIONS
 - RPTSOL (FIP=1, 2, или 3) в секции SOLUTION
- Для вывода в 3D просматриваемые файлы:
 - INIT в секции GRID
 - RPTRST (FIP) – начальные запасы флюида

Создание регионов в препроцессорах

Интерактивно:

- FloViz
- Office
- Petrel
- FloGrid

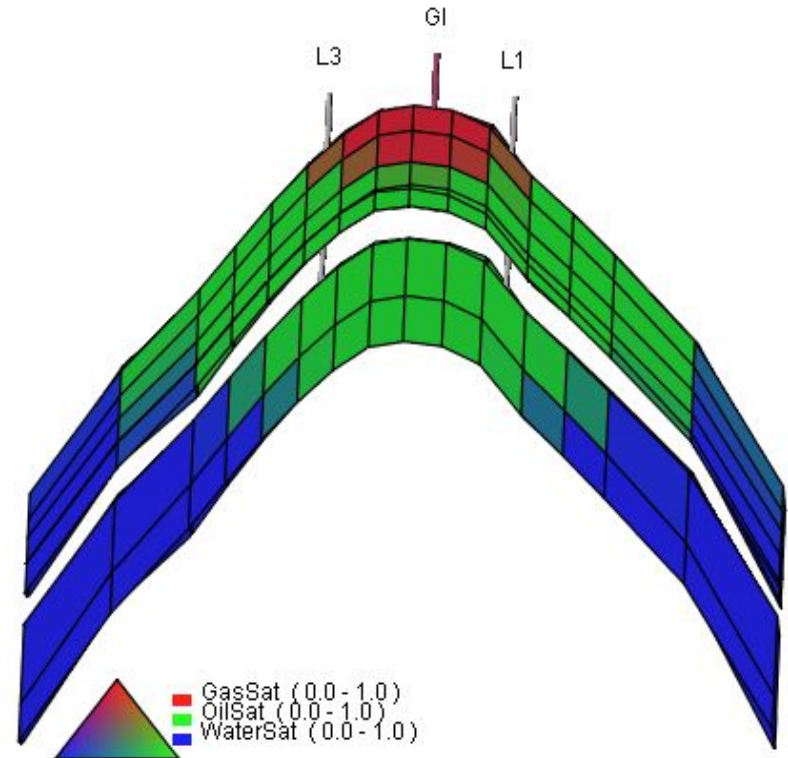


SOLUTION секция

Назначение секции

Определяет *начальное состояние модели*:

- Начальное давление и насыщенности
- Начальные коэффициенты газо- и конденсатосодержания
- Зависимость свойств пластовых флюидов от глубины
- Начальные условия для аналитических водоносных пластов



ECLIPSE способы инициализации

- **Балансировка:** начальные давления и насыщения вычисляются ECLIPSE с помощью ключевого слова EQUIL
- **Рестарты:** начальные условия могут быть считаны из restart файла созданного при одном из предыдущих расчетов ECLIPSE
- **Перечисление:** начальные условия заданы пользователем явно для каждой ячейки модели

EQUIL

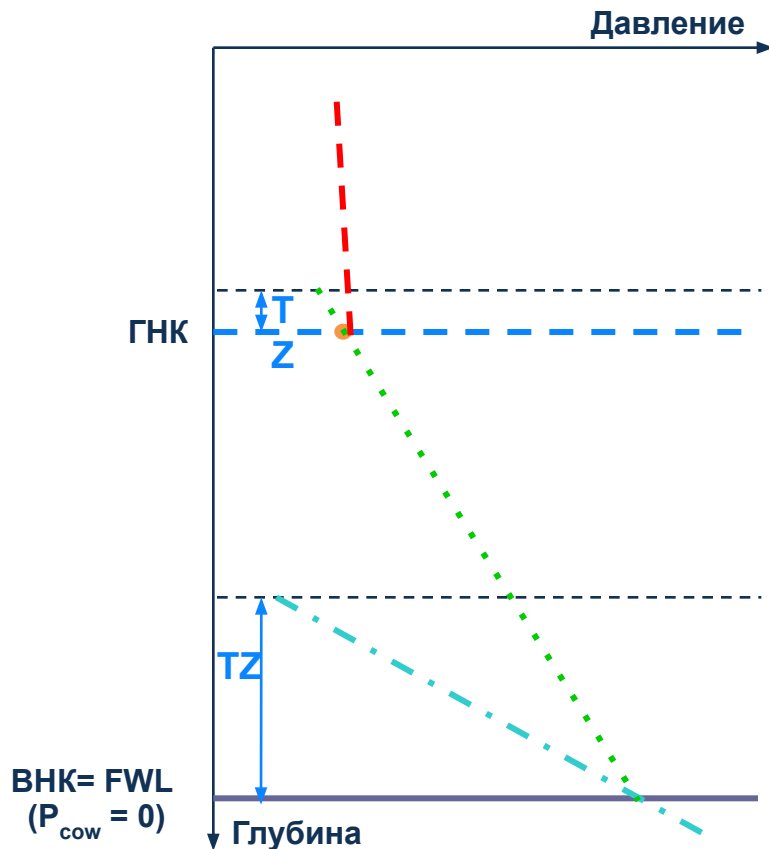
- Устанавливает контакты и давления для области гидростатического равновесия
- Параметры EQUIL интерпретируются по-разному, в зависимости от присутствующих фаз
- Может быть несколько регионов равновесия (См. EQLDIMS)

EQUIL

EQUIL

--	D	P	OWC	Pcow	GOC	Pcog	RSVD/PBVD	RVVD/PDVD	N
	7000	4000	7150	0	1*	1*	1*	1*	0 /

Блочно-центрированная балансировка часть 1



EQUIL

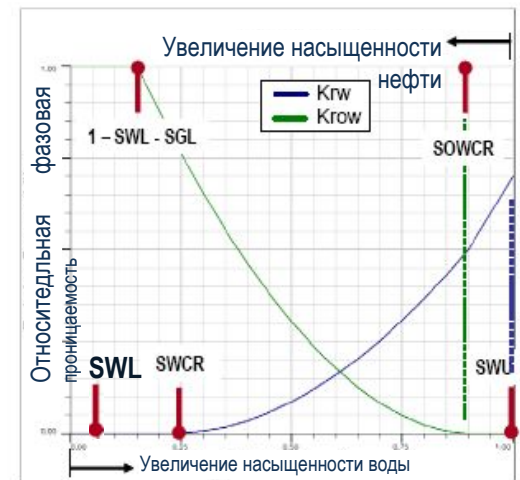
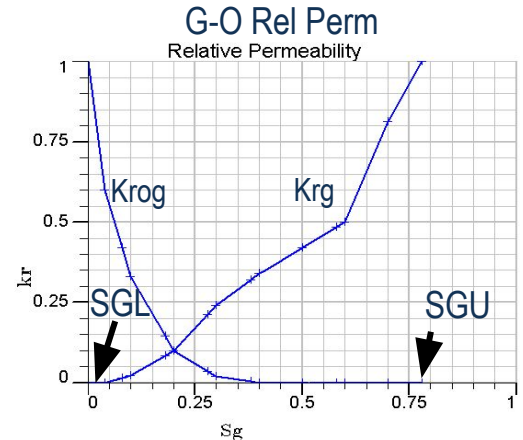
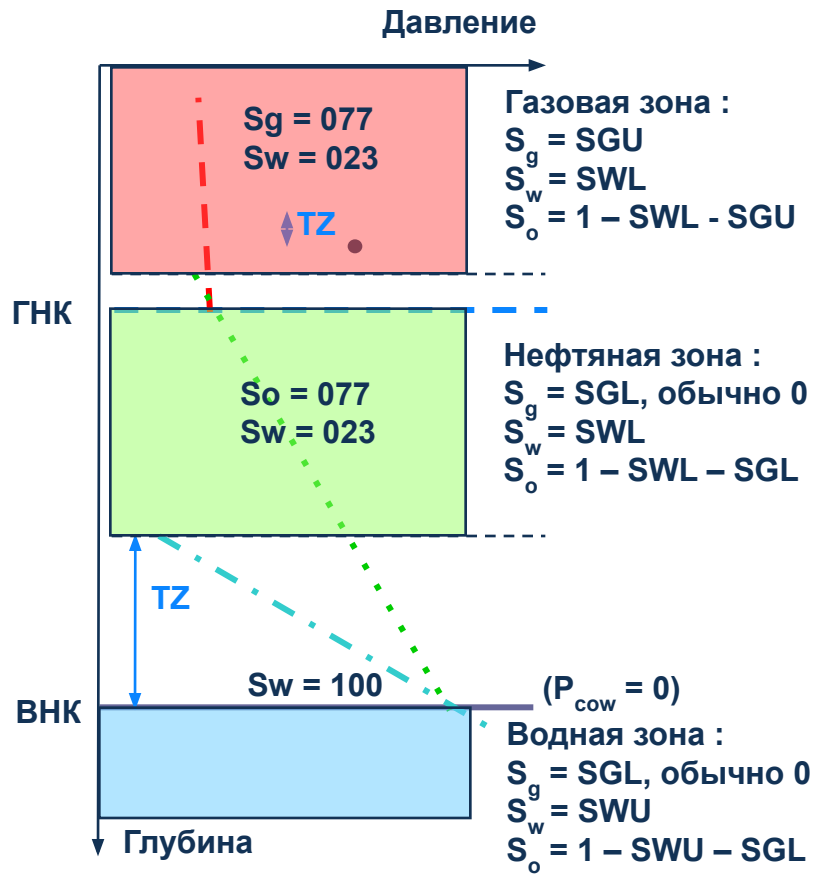
--D	P	OWC	P _{cow}	GOC	P _{cog}
3500	4000	7150	0	3500	0 /

1. Задаются: контакты, опорная глубина и давления
2. По уравнениям состояния рассчитываются давления в фазах, например:

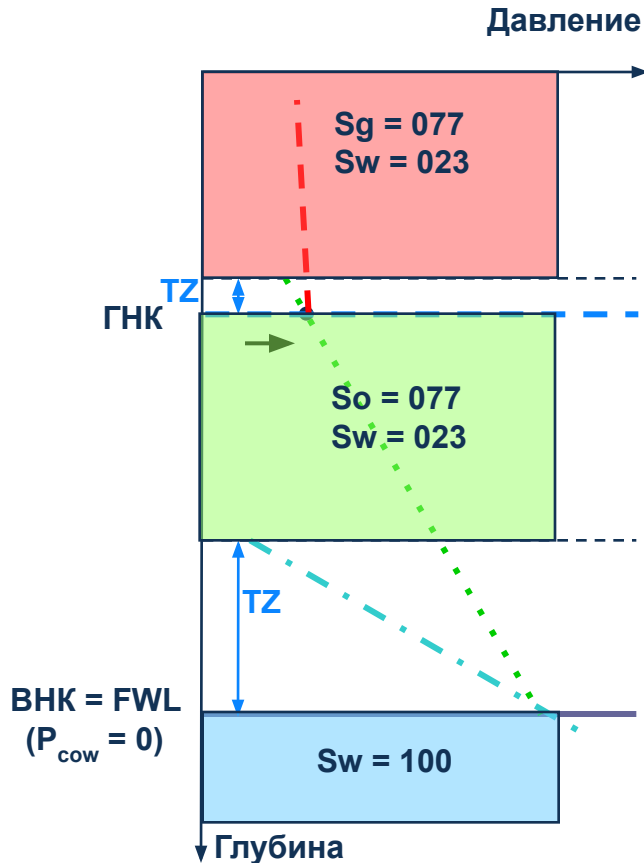
$$P_o(h_2) = P_o(h_1) + \int_{h_1}^{h_2} \rho_o g dh$$

Блочно-центрированная балансировка

Часть 2



Блочно-центрированная балансировка часть 3

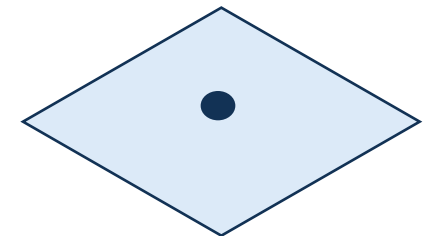
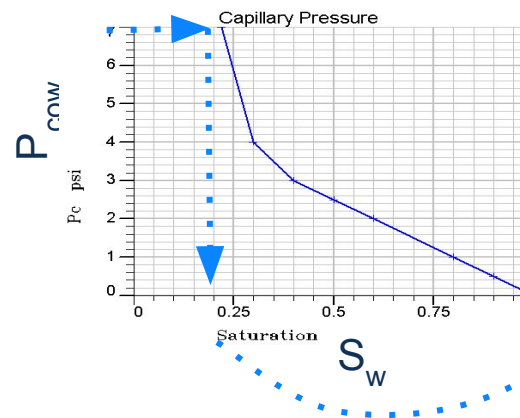


1. Расчет P_{cog} и P_{cow} в переходной зоне

$$P_{cow} = P_o - P_w$$

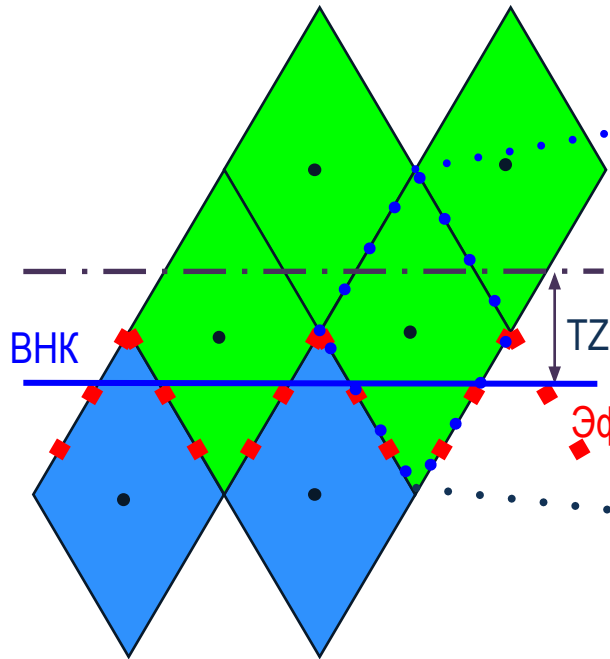
$$P_{cog} = P_g - P_o$$

2. Обратный поиск S_w из таблиц ОФП секции PROPS

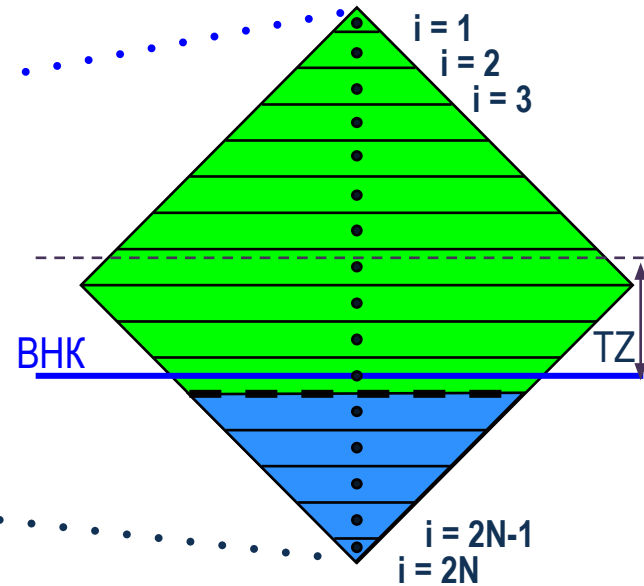


$S_{wi} = 0.25$
 $S_o = 0.75$

EQUIL



Block Center
Equilibrium

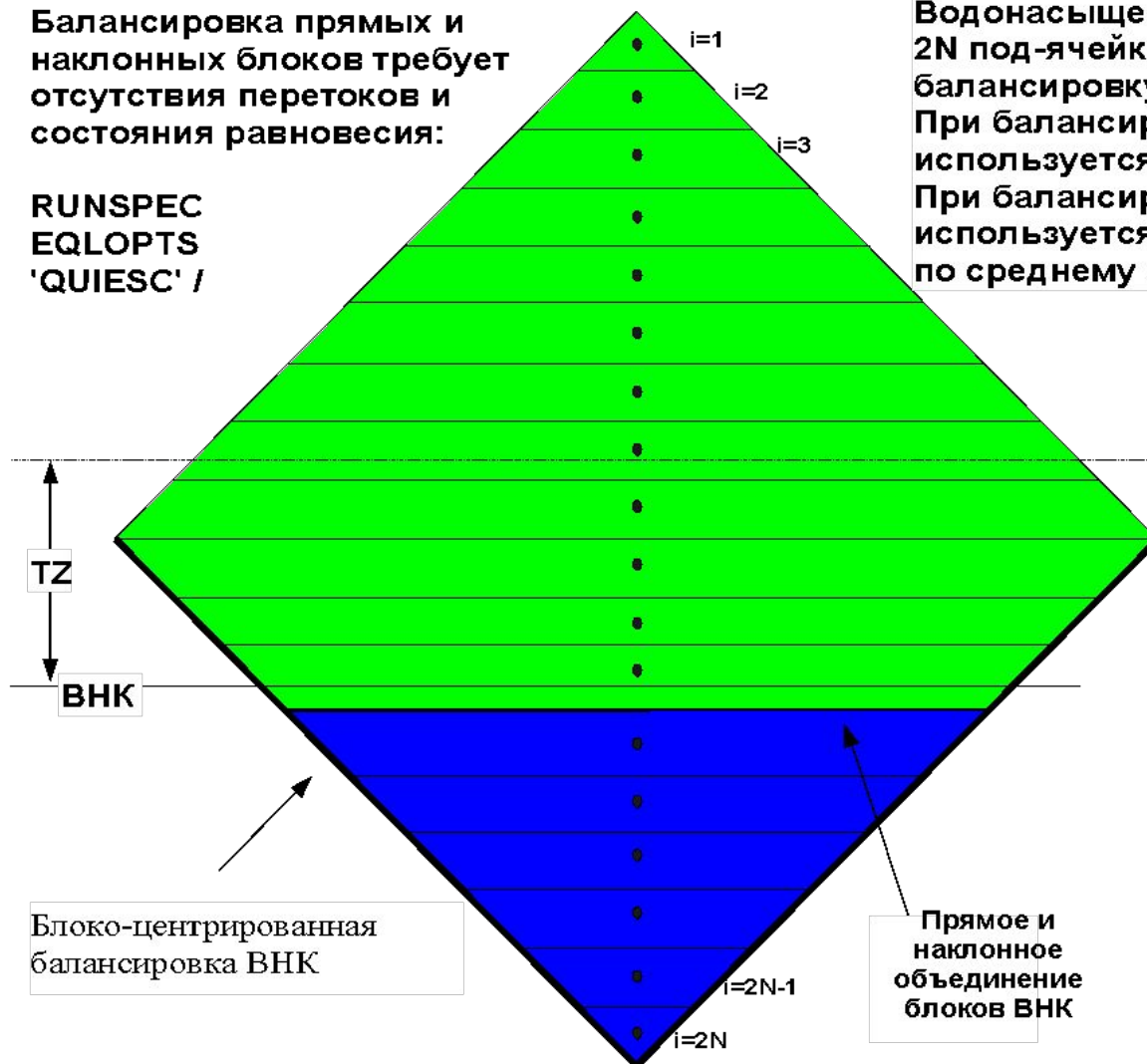


Level Block
Equilibrium

Балансировка прямых и наклонных блоков

Балансировка прямых и наклонных блоков требует отсутствия перетоков и состояния равновесия:

RUNSPEC
EQLOPTS
'QUIESC' /



Водонасыщенность рассчитывается в 2N под-ячейках используя балансировку.

При балансировке прямого блока используется среднее насыщение
При балансировке наклонного блока используется объем пор, взвешенный по среднему насыщению

Level:

$$S_w = \frac{1}{2|N|} \sum_{i=1}^{2|N|} S_{w_i}$$

$N < 0$

Tilted:

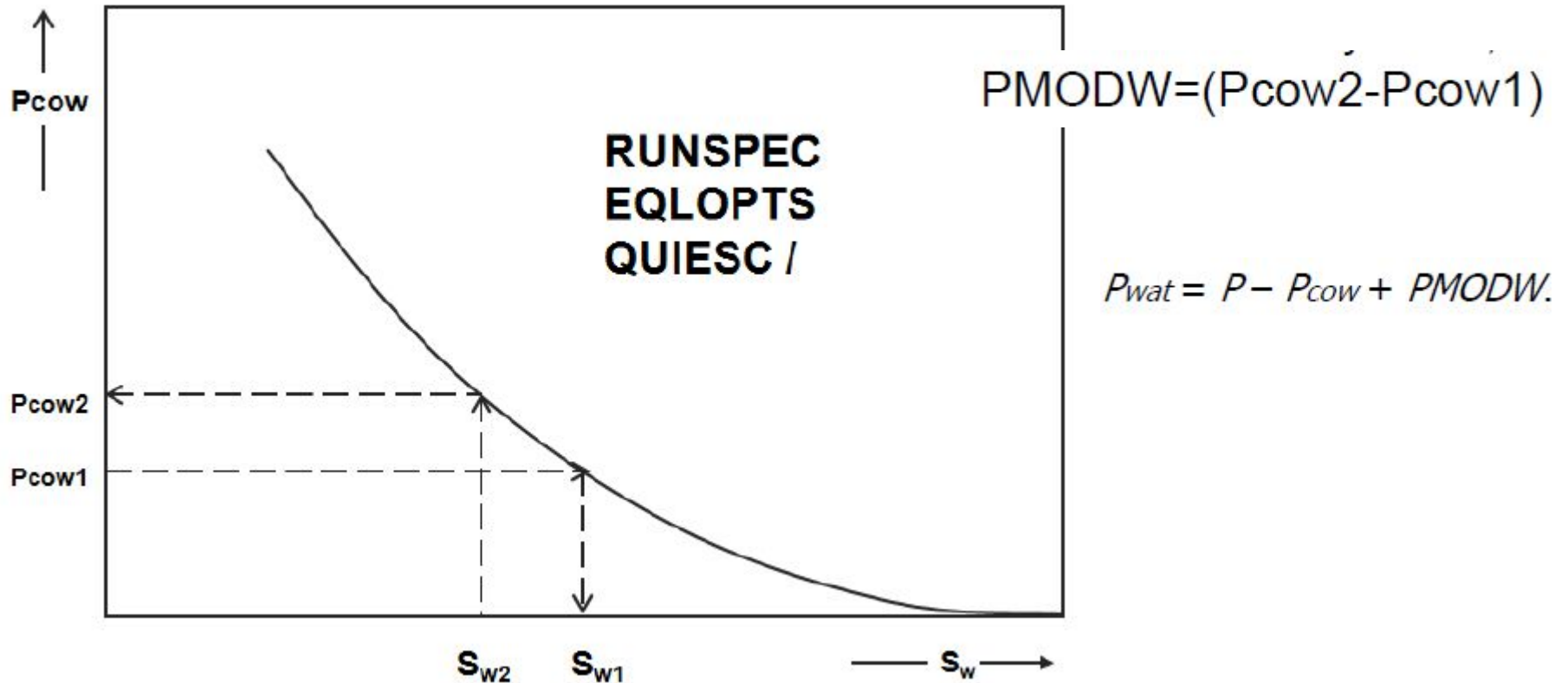
$$S_w = \frac{1}{2|N|} \frac{\sum_{i=1}^{2|N|} PV_i S_{w_i}}{\sum_{i=1}^{2|N|} PV_i}$$

$N > 0$

EQUIL(9=N

Schlumberger

QUIESCENCE



Mobile Fluid Correction

A. Oil saturation from fine scale equilibration:

$$S_o = (A+B)/V$$

B. Immobile oil saturation (from saturation tables):

$$SOWCR = (B+C)/V$$

C. Resulting mobile oil saturation:

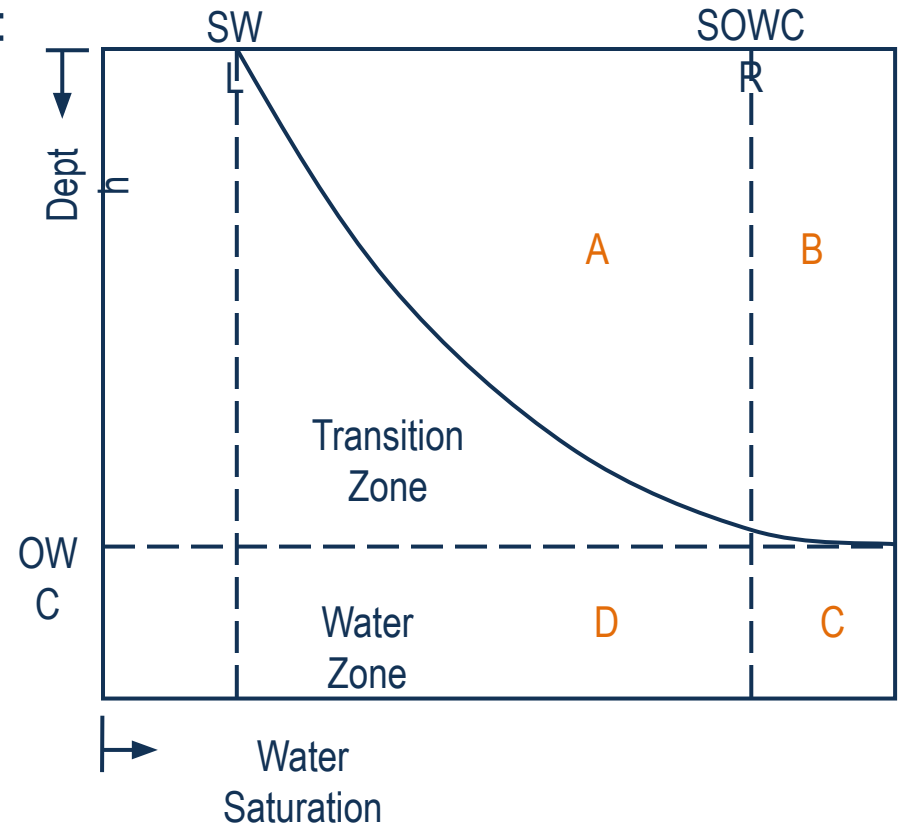
$$S_{omob} = (A-C)/V$$

D. Correct mobile oil saturation is:

$$S_{omob} = A/V$$

Mobile fluid correction activated by:

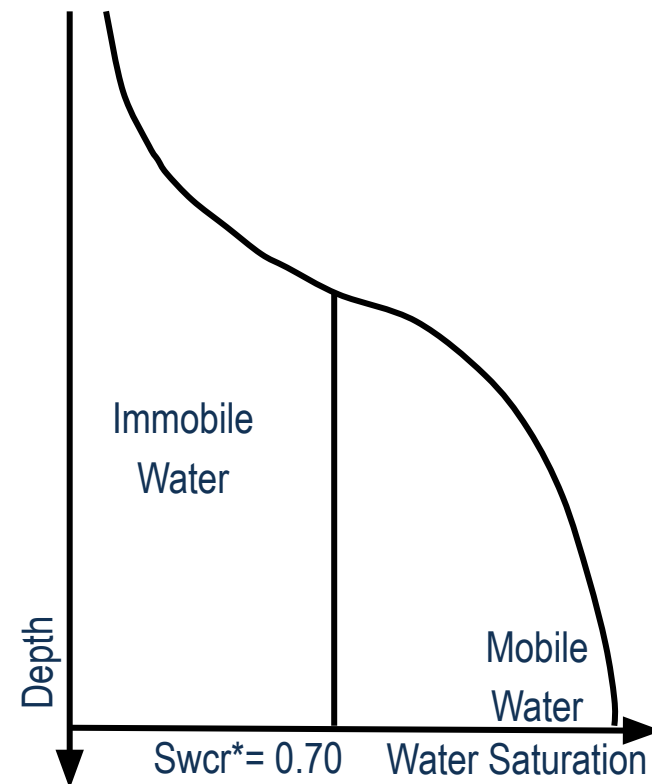
EQLOPTS
MOBILE /



Переходная зона

1. TZONE в PROPS.
2. Задайте лимит (Sw_{cr}^*) с SWCR.

```
TZONE
  F T F
/
EQUALS
  SWCR
0.70 /
/
```



Начальное распределение воды

Часто имеется распределение начальной водонасыщенности **НО** необходим EQUIL для расчета давления и насыщенностей др. фаз:

1. Введите таблицы насыщенностей как обычно, с ненулевым P_{cow}
2. Введите начальную водонасыщенность используя SWATINIT в секции PROPS
3. Введите ключевое слово EQUIL как обычно

ECLIPSE масштабирует P_{cow} для заданных начальных водонасыщенностей (SWATINIT)

4. $PPCWMAX$ ограничит максимальное масштабированное значение давления

Зависимость свойств пластовых флюидов от глубины

- Используется для расчета плотности
- Требуется как часть уравнения состояния нефтяной и газовой фаз
 - Концентрация растворенного газа, R_s или $RSVD$
 - Концентрация растворенной нефти, R_v или $RVVD$
 - Точка насыщения и/или точка росы от глубины, $PBVD$ и/или $PDVD$

Перезапуски (restart)

- Условия в конце инициализации устанавливаются как стартовые
- Зачем беспокоится о начальных насыщениях и давлениях?
- Перезапуски экономят время!



Перечисление

- Начальные условия могут быть заданы явно
- Это подходит для неравновесных ситуаций
- Ключевые слова PRESSURE, SWAT, SGAS, RS, RV
- Каждый массив задает явные значения для каждой ячейки

Управление выводом результатов

RPTSOL

'SOIL' /

- Вывод в табличном виде в PRT файл

Моделирование водоносных пластов

Моделирование водоносных пластов

- ECLIPSE Blackoil позволяет моделировать водоносные пласты следующих типов:
 - Численный
 - Аналитический
 - Картера-Трейси (Carter-Tracy)
 - Фетковича (Fetkovich)
 - Постоянного притока

Численный

- Определяются ячейки ниже ВНК и не связанные с залежью (AQUNUM)
- Присоединяются к модели пласта (AQUCON)
- Оставляется ряд водонасыщенных ячеек между водоносным пластом и залежью

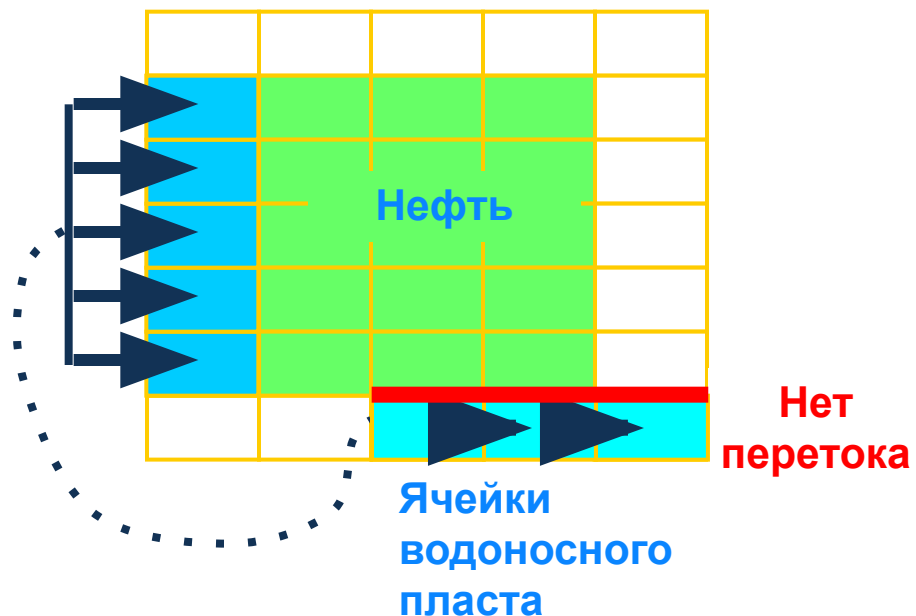
GRID

AQUNUM

--Aq#	I	J	K	Area	Length	Φ	
1	3	7	1	1E2	1E2	03	/
1	4	7	1	1E4	1E3	03	/
1	5	7	1	1E6	1E4	03	/

AQUCON

--Aq#	I1	I2	J1	J2	K1	K2	Face	
1	1	1	2	6	1	1	'I-'	/



Феткович (Fetkovich)

- Модель Фетковича основана на уравнениях коэффициента продуктивности псевдо-установившегося режима (ПУР)
- Эта модель подходит для небольших водоносных пластов, быстро достигающих ПУР
- В секции SOLUTION:
 1. Определяются их свойства (AQUFETP)
 2. Задается связь с моделью пласта через ячейки (AQUANCON)

Картер-Трейси (Carter-Tracy)

- Модель Картера-Трейси задается через табличную функцию безразмерного давления P_D от безразмерного времени t_D , определяющую приток из законтурной области
- В секции SOLUTION:
 1. Определяются свойства (AQUCT)
 2. Задается табличная функция давления (AQUTAB)
 3. Задается связь с моделью пласта через ячейки (AQUANCON)

Постоянного притока

- Дебит задается напрямую инженером по формуле:

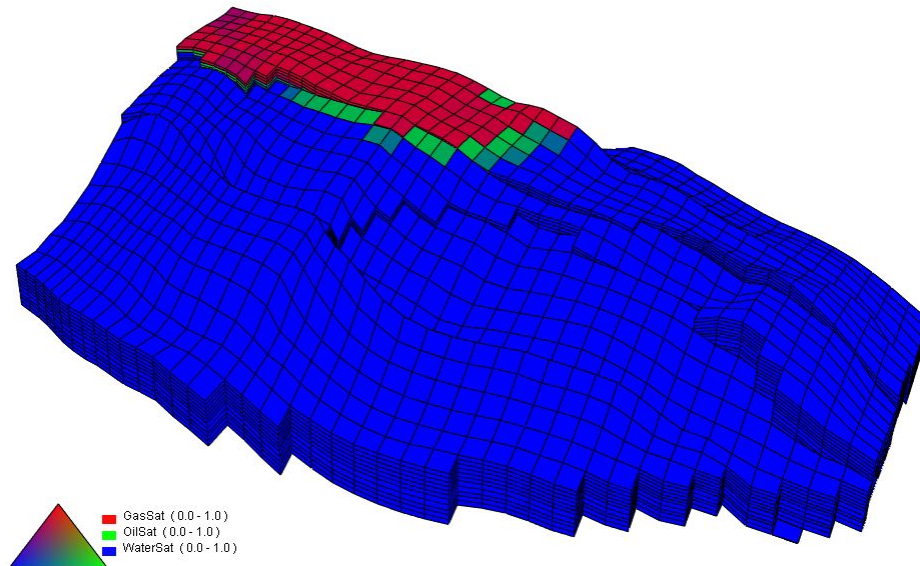
$$Q_{ai} = F_a A_i m_i$$

F_a переток
 A_i площадь сечения присоединенных ячеек
 m_i множитель на переток

- Дебит может быть отрицательным (переток **в** законтурную область)
- Дебит можно менять в секции SCHEDULE
- В секции SOLUTION :
 1. Определяются свойства (AQUFLUX)
 2. Задается связь с моделью пласта через ячейки (AQUANCON)

Grid Cell Aquifer

- Модель распространяется в водяную зону.
- Не требуется дополнительных ключевых слов.



Секция SUMMARY

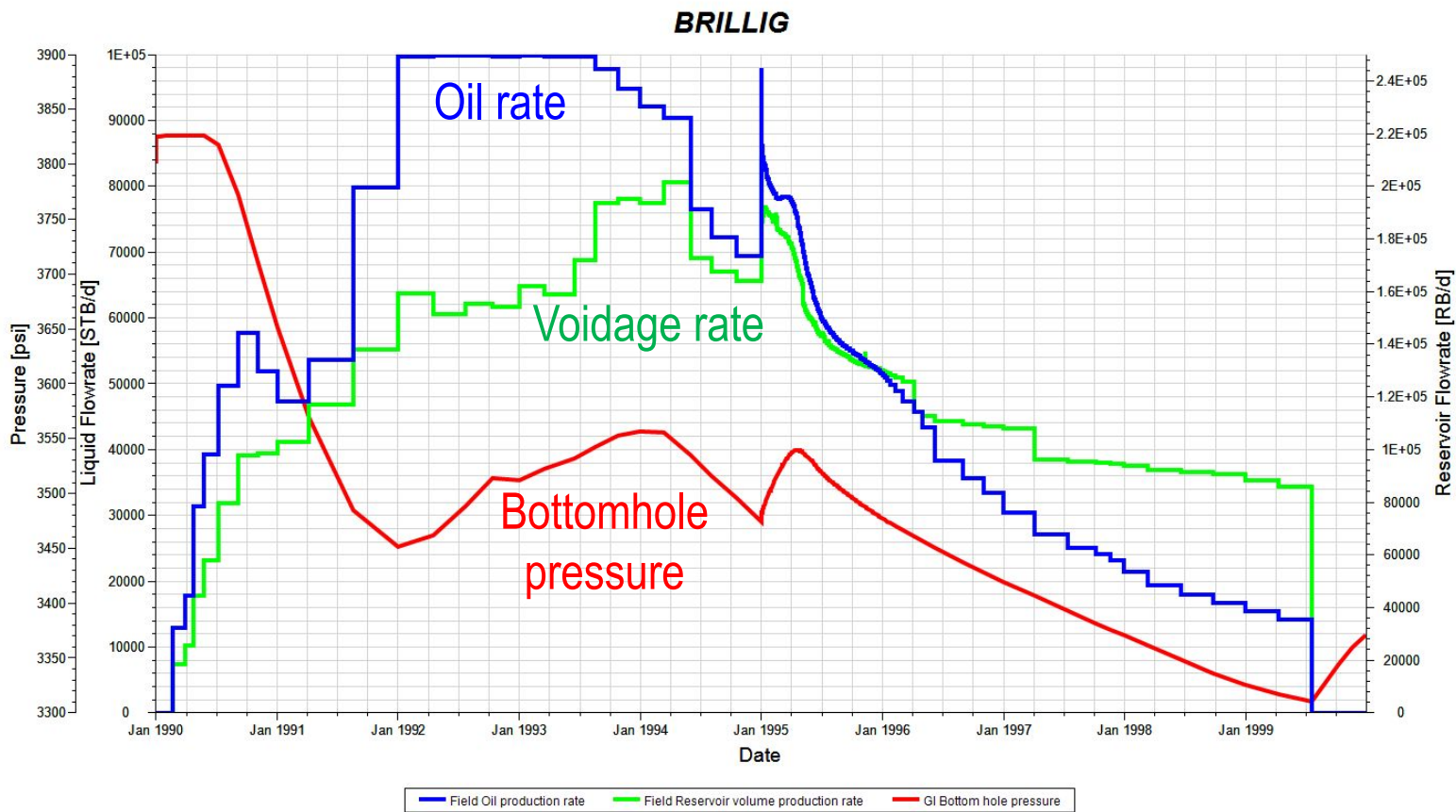
Назначение секции SUMMARY

- Определение переменных, которые нужно записать в summary файлы после каждого временного шага
- Графическое отображение этих переменных в Petrel, Office
- Секция опциональна: Если она отсутствует, summary файлы не создаются

Примеры:

- FOPT (накопленная добыча нефти по месторождению)
- WWCT (обводненность по скважине)

Просмотр SUMMARY векторов



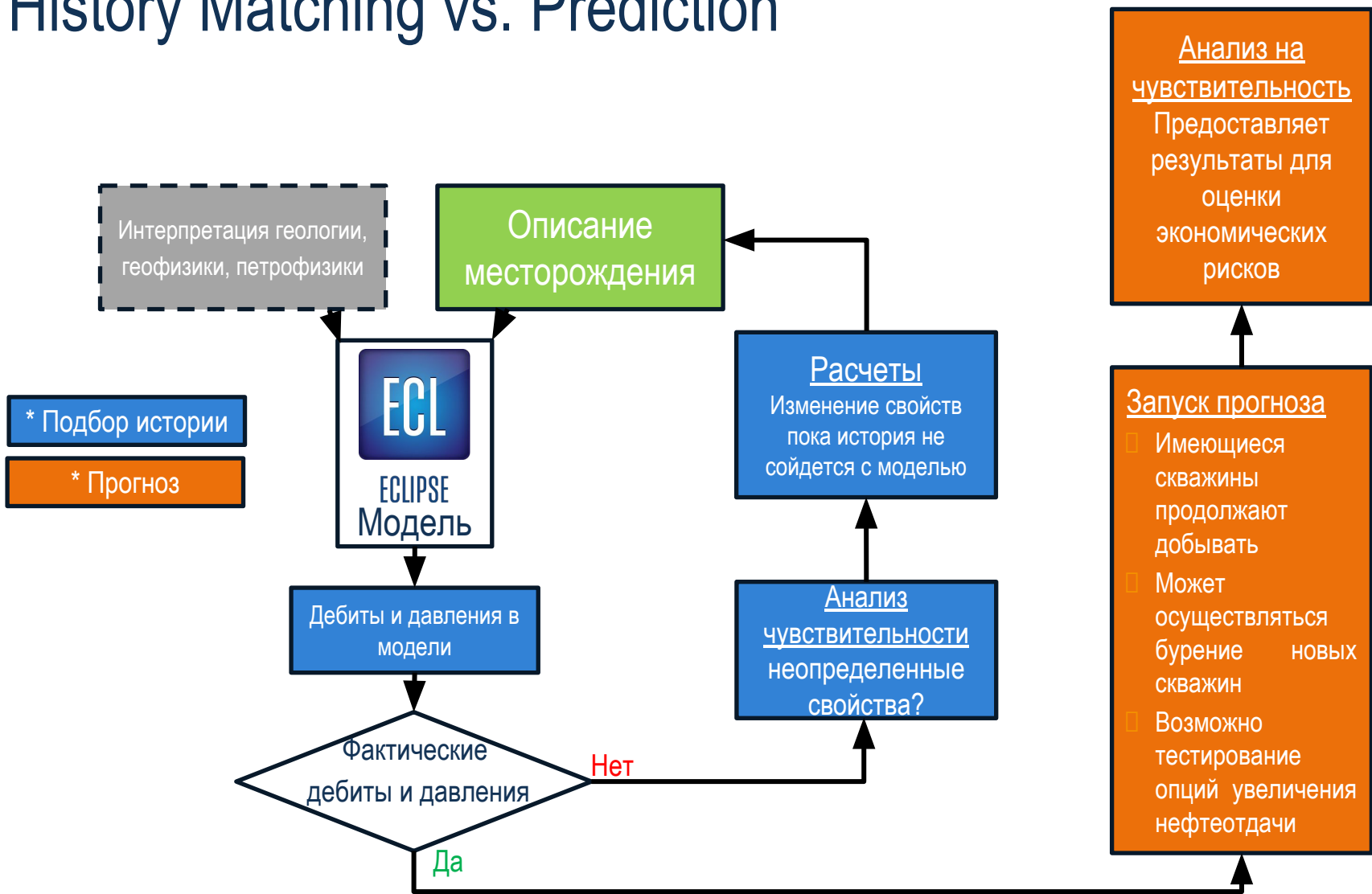
Секция SCHEDULE

История

Назначение Секции SCHEDULE

- Секция SCHEDULE используется для:
 - Моделирования режимов работы скважин
 - Задания временных шагов (TSTEP, DATES)
 - Контроля параметров сходимости
- Секция SCHEDULE используется в двух режимах:
 - Подбор истории – данные по имеющимся скважинам и добыче/закачке
 - Прогноз – режимы управления, новые скважины, экономические ограничения

History Matching vs. Prediction



Задание Истории в Секции SCHEDULE

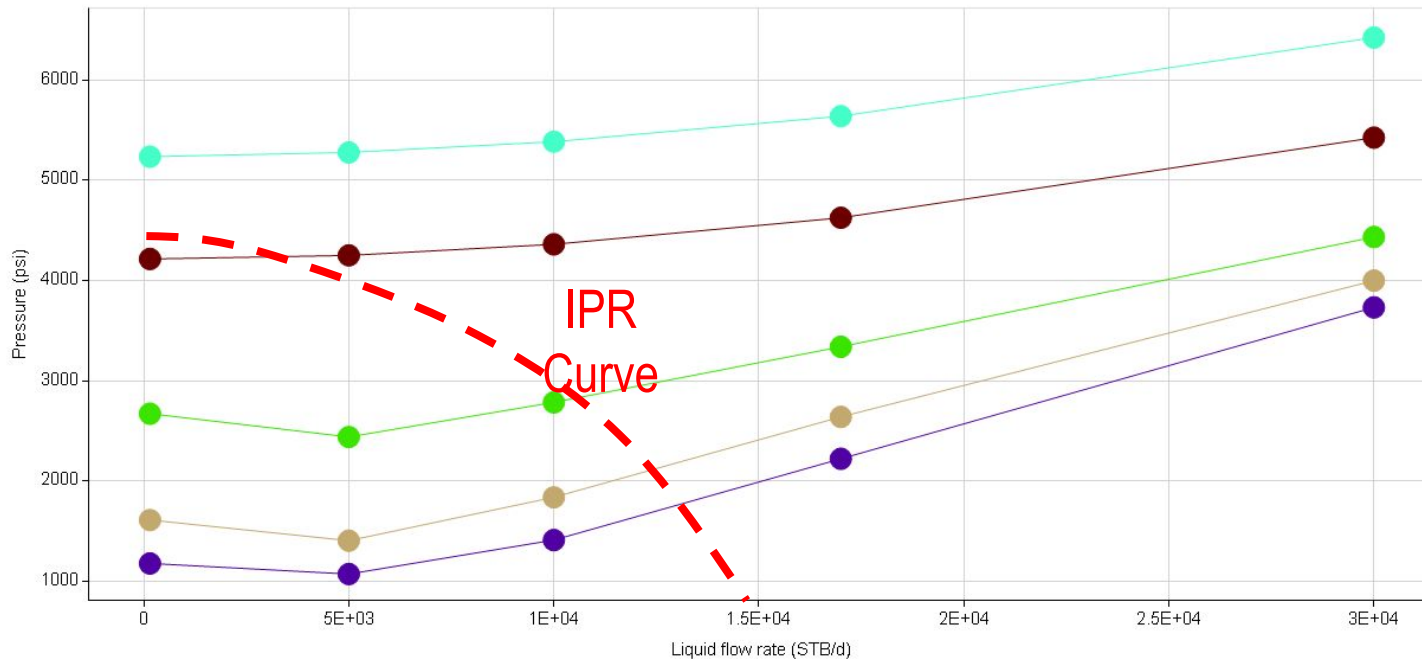
- Определите необходимые данные для вывода
- Задайте данные по скважинам, VFP таблицам, заканчиванию скважин и дебиты
- Определите следующую дату и задайте:
 - Фактические дебиты скважин
 - Ремонтные работы

Задание VFP Кривых

- Таблица VFP – это таблица зависимости BHP от FLO, THP, WFR, GFR и ALQ
 - FLO – дебит нефти, жидкости или газа
 - THP – устьевое давление
 - WFR – водонефтяной или водогазовый фактор, обводненность
 - GFR – газожидкостный фактор, отношение нефть/газ или газ/нефть
 - ALQ – переменная, используемая для введения дополнительного параметра, например, при использовании опции оптимизации газлифта
- Petrel, PIPESIM – используются для генерации данных этого ключевого слова

Использование Таблиц VFP

Pressure vs Liquid flow rate



Symbol legend				
BHP at THP (psi)				
● THP: 200	● THP: 500	● THP: 1000	● THP: 2000	
● THP: 3000				

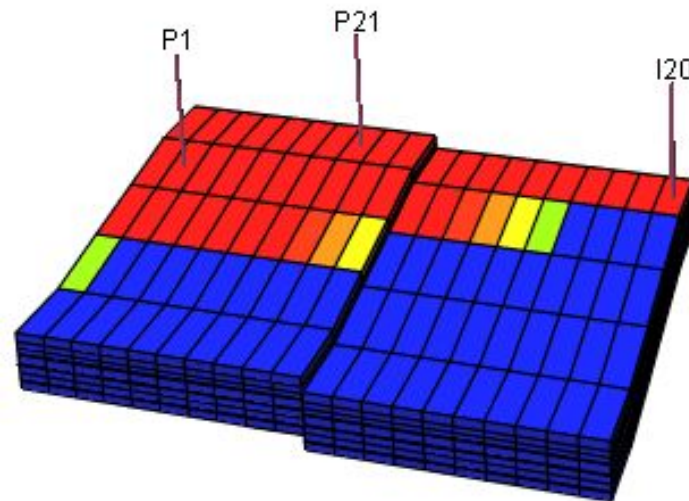
Ввод Скважин: WELSPECS

- Вводит новую скважину и задает базовые данные для нее
- Это ключевое слово является **обязательным**
 - Скважина должна быть определена до того, как на нее будут ссылаться далее

WELSPECS

```
--имя  группа  I  J  refD  phase  
P1      G      2  2   1*   OIL   /  
P21     G      8  1   1*   OIL   /  
I20     G     20  1   1*   WAT   /  
/
```

WELSPECS



The Well Model

$$q_{p,j} = T_{wj} M_{p,j} (P_j - P_w - H_{wj})$$

Flow_{phase, connection} → $q_{p,j}$
 Transmissibility_{connection} → T_{wj}
 Mobility_{phase, connection} → $M_{p,j}$
 Nodal Pressure_{connection} - BHP - Head_{connection to datum} → $(P_j - P_w - H_{wj})$

$$T_{wj} = \frac{c \cdot Kh}{\ln(r_o/r_w) + S}$$

$$M_{o,j} = \frac{k_{o,j}}{\beta_{o,j} \cdot \mu_{o,j}} + R_v \frac{k_{g,j}}{\beta_{g,j} \cdot \mu_{g,j}}$$

$$M_{g,j} = \frac{k_{g,j}}{\beta_{g,j} \cdot \mu_{g,j}} + R_s \frac{k_{o,j}}{\beta_{o,j} \cdot \mu_{o,j}}$$

Peaceman radius and Transmissibility

$$CCF = \sqrt{T_x^2 + T_y^2 + T_z^2}$$

$$r_{0x} = 0.28 \cdot \frac{\sqrt{D_z^2 \sqrt{\left(\frac{K_y}{K_z}\right)} + D_y^2 \sqrt{\left(\frac{K_z}{K_y}\right)}}}{\left(4 \sqrt{\frac{K_y}{K_z}}\right) + \left(4 \sqrt{\frac{K_z}{K_y}}\right)}$$

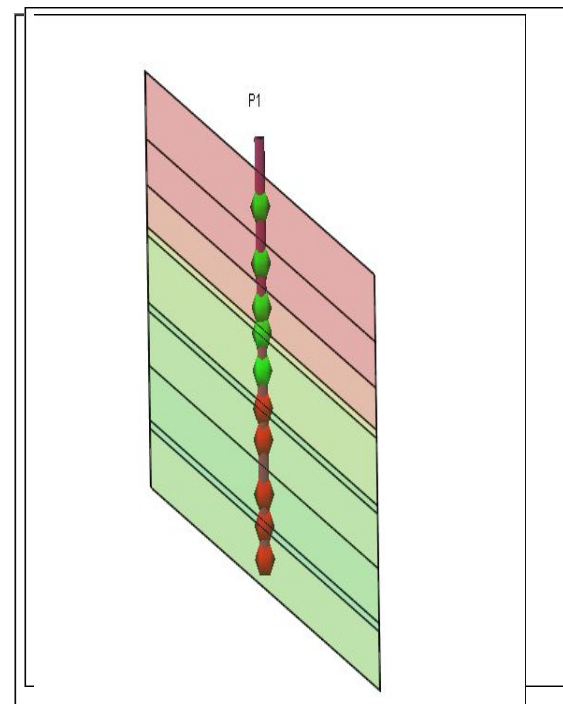
Данные о Вскрытии Скважин: COMPDAT

- Используется для задания местоположения вскрытий, а также параметров для них

COMPDAT

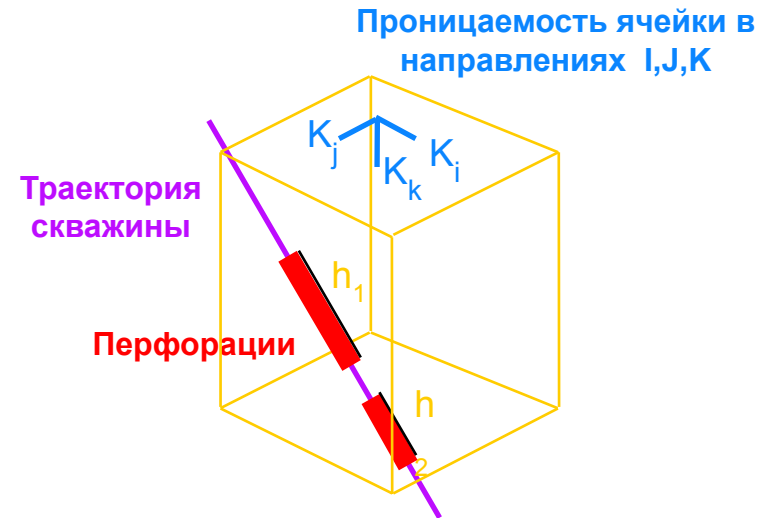
```
--nm I J Ku Kl status sat CF Dwell Kh S  
P1 2* 1 10 OPEN 1* 1* 0.583 /  
P21 2* 1 10 SHUT 1* 1* 0.583 /  
/
```

COMPDAT



COMPDAT, пункт 8: Коэффициент Соединения

- Трехчастная формула Писмана с представлением в полной векторной форме с учетом:
 - Ориентации скважины
 - Проницаемости ячеек сетки
 - Частичного вскрытия ячейки



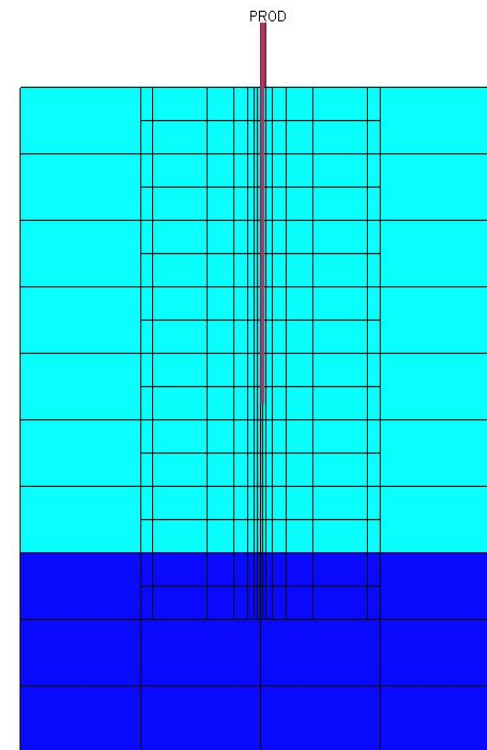
COMPDAT

Заканчивание Скважин в Локальных Измельченных Сетках

- Процедура схожа с обычным заканчиванием
- Введите скважину - WELSPECL
- Задайте соединения для скважины – COMPDATL

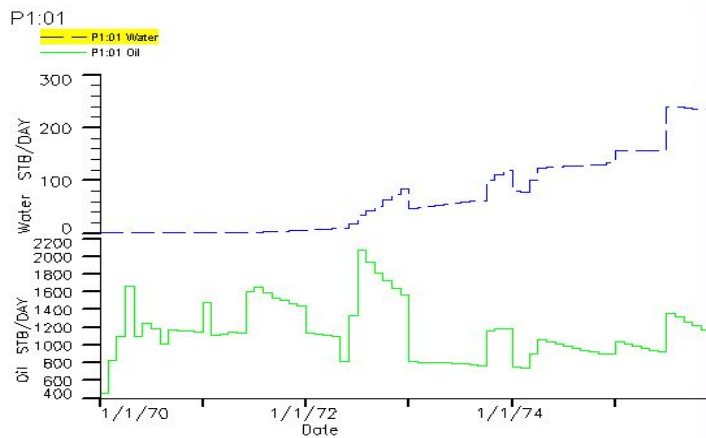
```
WELSPECL
--Well  Grup  LGR   I   J   Depth  Phase
   PROD  GRP1  RAD4  1   1   1*     OIL /
/
COMPDATL
--Well  LGR   I   J   K1  K2   Stat  Diam  Dir
   PROD  RAD4  1   1     3  10   OPEN  2*   0508 3*
Z /
   PROD  RAD4  1   2     3  10   OPEN  2*   0508 3*
Z /
   PROD  RAD4  1   3     3  10   OPEN  2*   0508 3*
Z /
   PROD  RAD4  1   4     3  10   OPEN  2*   0508 3*
Z /
/
```

Важно: Скважина может быть закончена только в одном LGR (используйте AMALGAM)
Скважина не может быть закончена и в общей сетке и в LGR



Исторические Дебиты: WCONHIST

- Используется для задания фактических дебитов скважин при воспроизведении истории
- Режимы управления: ORAT, WRAT, GRAT, LRAT, RESV
- WCONINJH – аналог WCONHIST для нагнетательных скважин



```
DATES
 1 'FEB' 1970 /
/
WCONHIST
--nm stat ctl-by oil wat gas
P1 OPEN ORAT 8223 058 61225 /
/
```

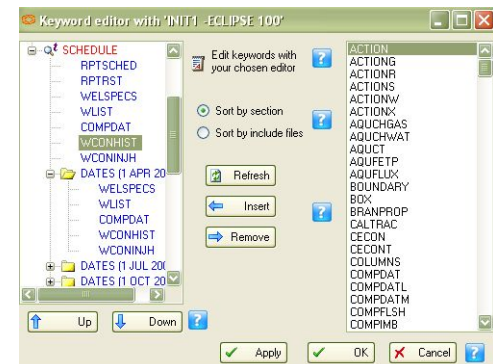
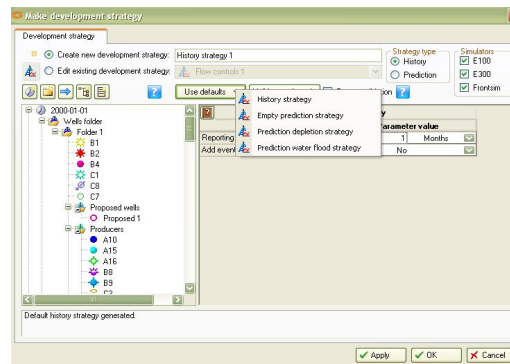
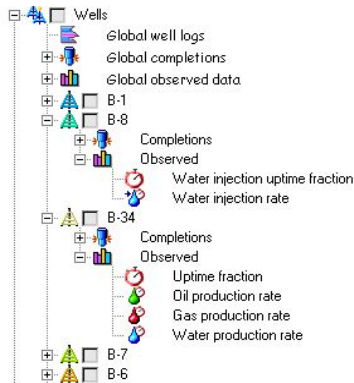
Повторяется для каждой даты...

Подбор Истории в Petrel

- Загрузка:
 - Инклинометрии
 - Заканчиваний
 - Перфораций
 - ремонтных работ

- Данные по закачке/нагнетанию

- Выгрузка
- Ключевые слова секции SCHEDULE



Временные шаги моделирования

DATES

1 JAN 1998 / Моделирование до 01/01/98

1 JUN 1998 / Моделирование до 01/06/98

TSTEP

1 / Временной шаг 1 день

TSTEP

0.2 / Временной шаг 0.2 дня

END Завершение моделирования

Проведение Ремонтных Работ

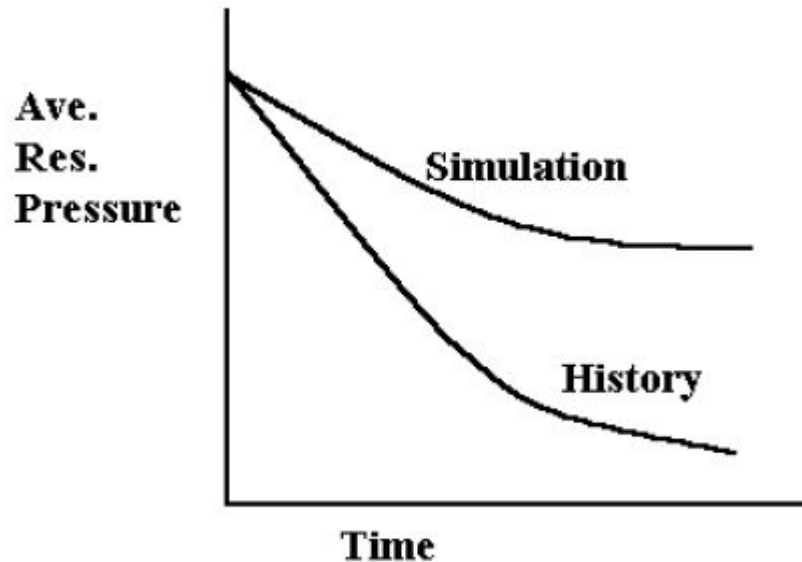
- WELOPEN
 - Используется для открытия и закрытия скважин в заданное время
- COMPDAT
 - Используется для модификации данных о вскрытии скважины для моделирования гидроразрыва пласта, тампонирования
- WELPI, WPIMULT
 - Изменяет коэффициент продуктивности (PI)

Контроль Вывода

- Для вывода в **PRT** файл:
 - RPTSCHEM
 - Можно запросить вывод свойств
- Для вывода а **Restart** файл:
 - RPTRST
 - Можно запросить вывод свойств
 - Можно задать частоту вывода
 - Может использоваться для перезапусков и 3D постпроцессоров

History matching adjustments

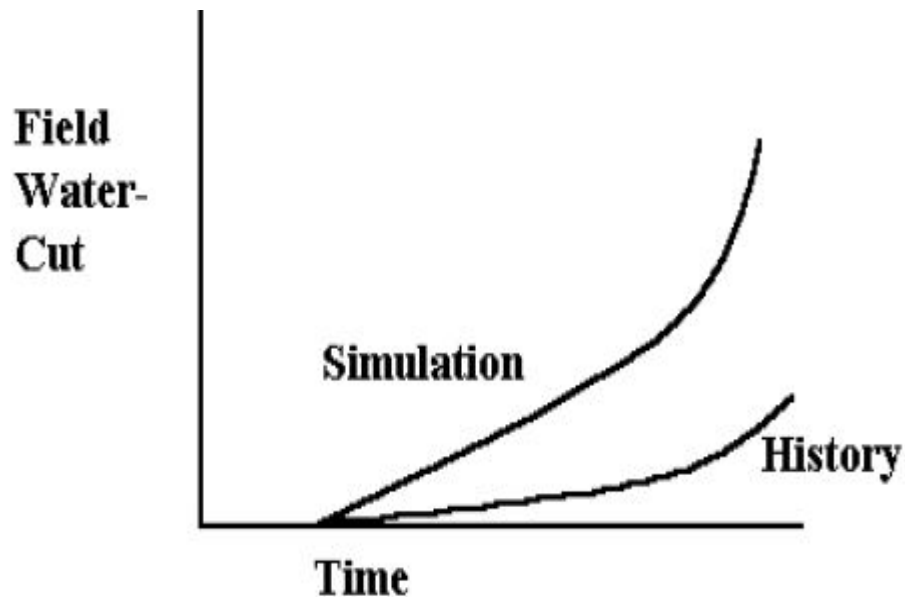
Simulation field pressure too high



- Pore volume?
- Aquifer?
- Energy (gas cap size)?

History matching adjustments

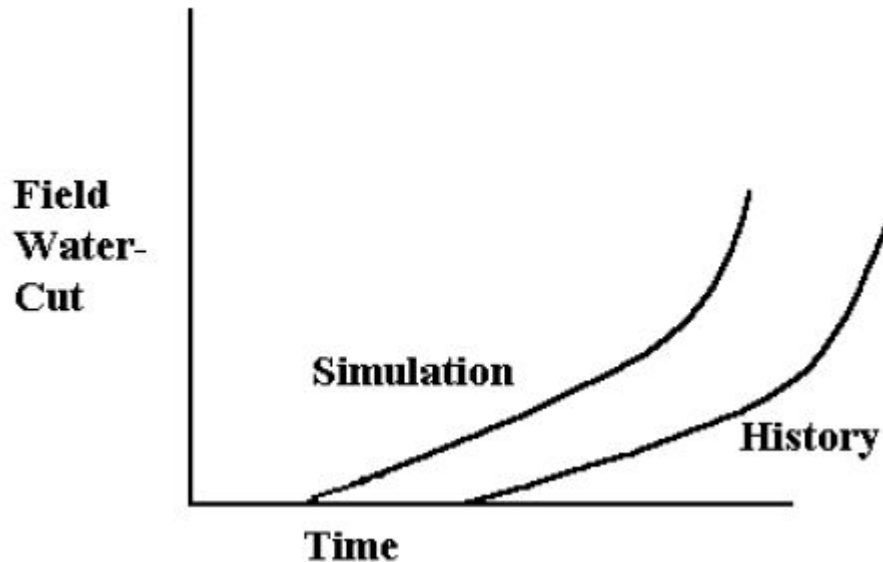
Break Through: OK, After BT WC too high



- K_{rw}/K_{ro} ratio decrease?

History matching adjustments

Water BT too early, After BT slope - OK



- Shale or barrier b/w wells and water?
- Numerical dispersion/Grid effect?
- etc.

Peaceman radius and Transmissibility

$$CCF = \sqrt{T_x^2 + T_y^2 + T_z^2}$$

$$r_{0x} = 0.28 \cdot \frac{\sqrt{D_z^2 \sqrt{\left(\frac{K_y}{K_z}\right)} + D_y^2 \sqrt{\left(\frac{K_z}{K_y}\right)}}}{\left(4 \sqrt{\frac{K_y}{K_z}}\right) + \left(4 \sqrt{\frac{K_z}{K_y}}\right)}$$

History Matching

Pressure match

- Run the model under reservoir voidage control
- Examine the overall pressure levels, adjust the pore volume/aquifer properties to match overall pressure
- Match the well pressures, modify local PVs/aquifers to match overall pressures; modify local transmissibility to match pressure gradient

History Matching

Saturation match

- Normally attempted once pressures matched
- Most important parameters are rel. perm. curves and permeabilities
- Try to explain the reasons for the deviations and act accordingly
- Changes to rel. perm. tables should affect the model globally
- Changes to permeabilities should have some physical justification
- Consider the use of well pseudos
- Assumed layer KH allocations may be incorrect (check PLTs, etc.)

Секция SCHEDULE: Прогноз

Назначение Секции SCHEDULE

- Секция SCHEDULE используется для:
 - Моделирования режимов работы скважин
 - Задания временных шагов (TSTEP, DATES)
 - Контроля параметров сходимости
- Секция SCHEDULE используется в двух режимах:
 - Подбор истории – данные по имеющимся скважинам и добыче/закачке
 - Прогноз – режимы управления, новые скважины, экономические ограничения

Прогноз в Секции SCHEDULE

- **Задайте частоту вывода**
- **Определите скважины, VFP таблицы, данные о вскрытиях**
- **Задайте группы**
- **Контроль над группами/скважинами, экон. ограничения, ремонты и т.д.**
- **Задайте временные шаги**
- **Окончание прогноза**

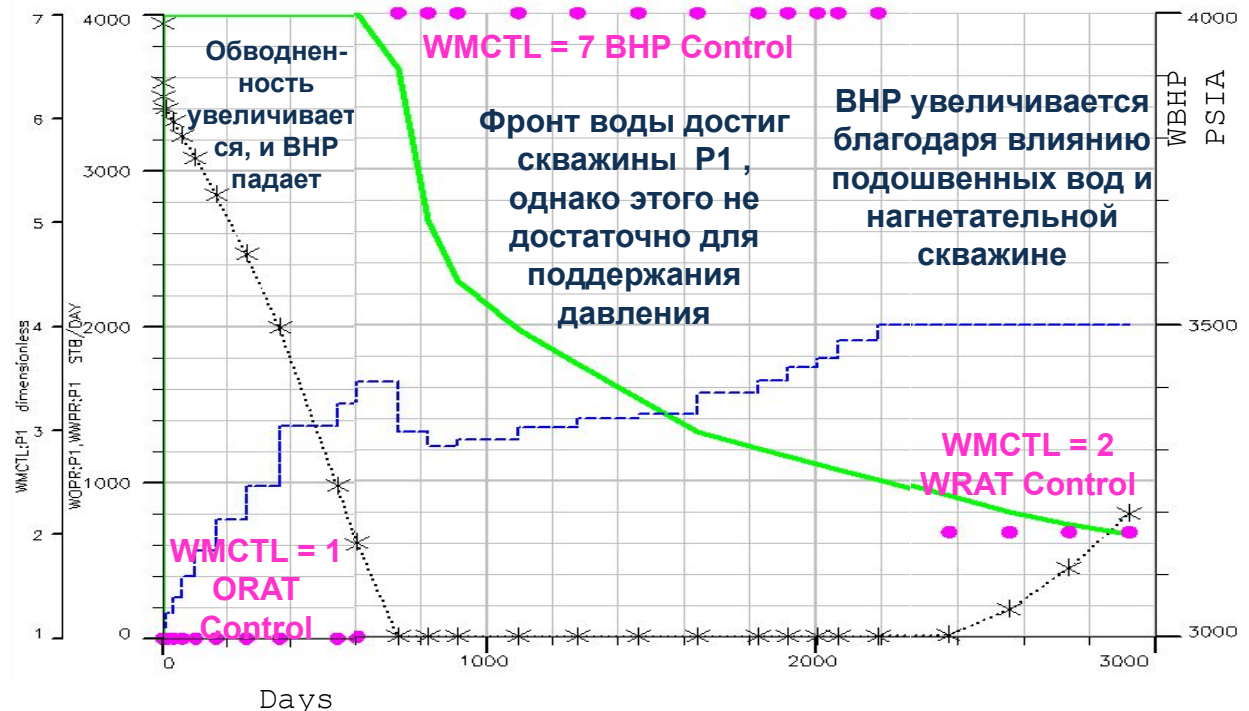
Режим Управления Добычей: WCONPROD

WCONPROD

```
--nm status ctl-by Oil Wat Gas Liq Liq_Res BHP THP VFP#
'P*' OPEN ORAT 4000 2000 1* 1* 1* 3000 1* 1* /
```

1. P1 находится под управлением дебитом нефти...
2. P1 перешла под управление забойным давлением (BHP)...
3. P1 переключилась под управление дебитом воды...

— WOPR:P1 vs. DATE (RUN-CONTROL-SLIDE)
- - - WWPR:P1 vs. DATE (RUN-CONTROL-SLIDE)
* * * WBHP:P1 vs. DATE (RUN-CONTROL-SLIDE)
● ● ● WMCTL:P1 vs. DATE (RUN-CONTROL-SLIDE)

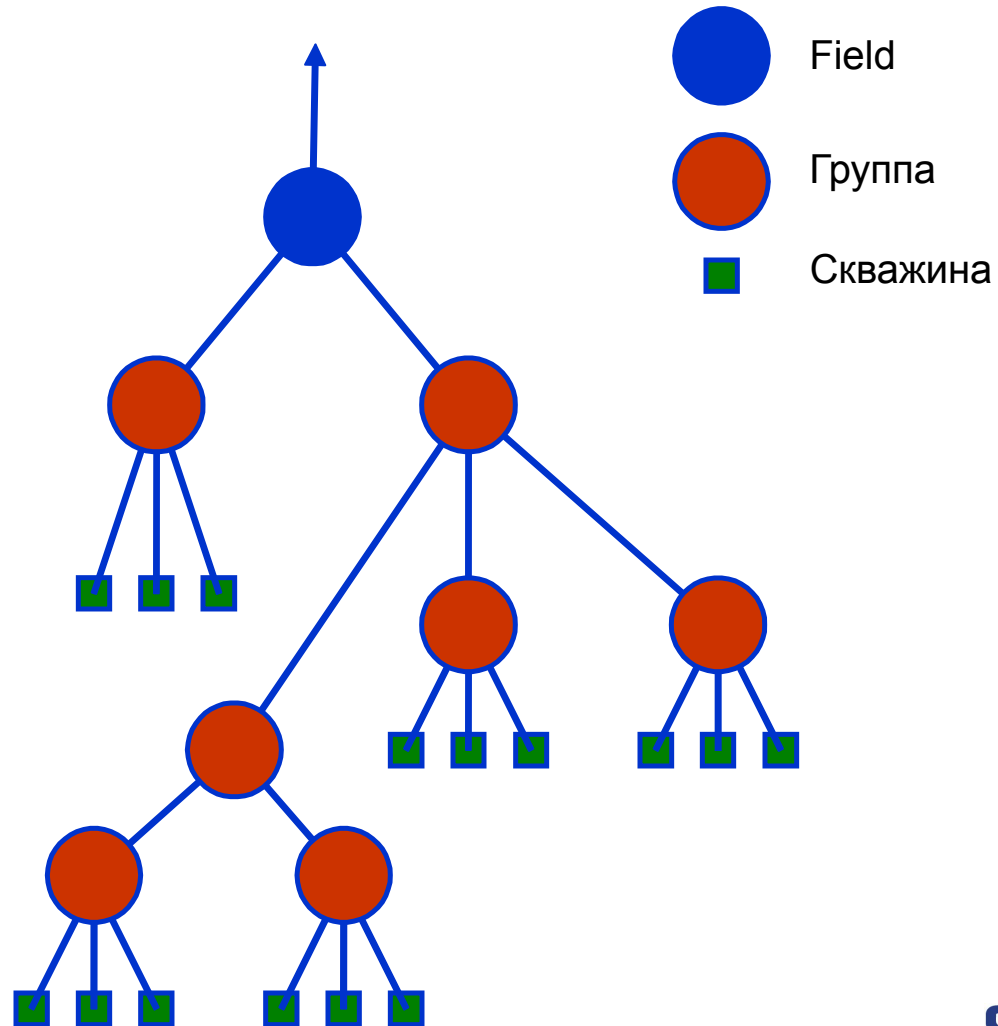


Для нагнетательных скважин – WCONINJE

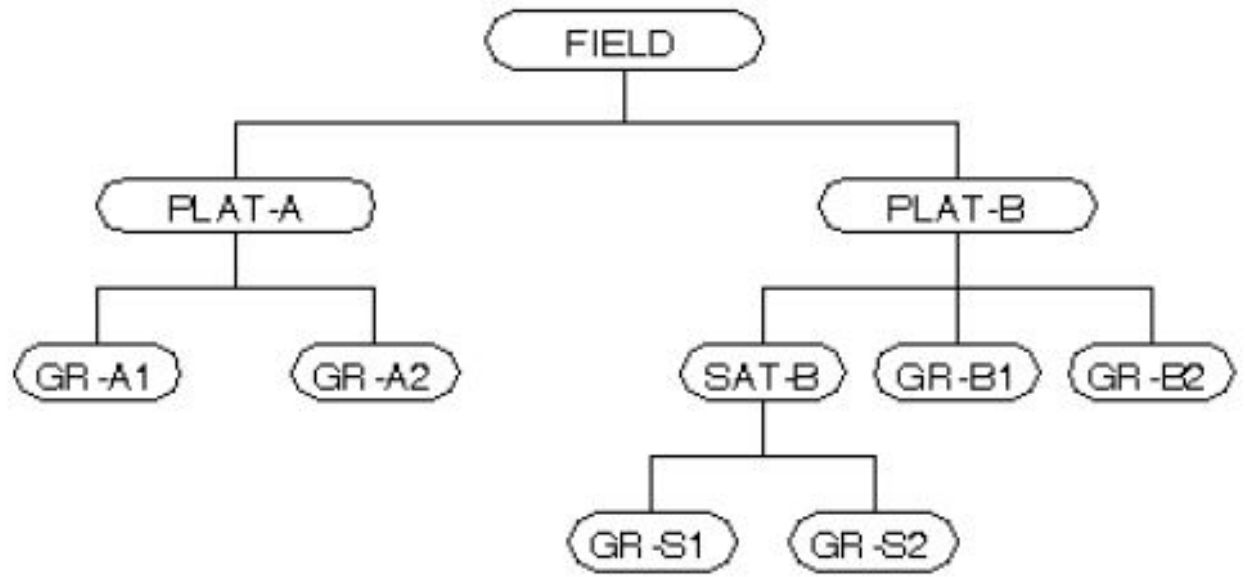
Режим Группового Контроля

- Групповое управление используется для воспроизведения промышленных работ
- Примеры:
 - Платформа А имеет заданную мощность системы водоснабжения ([GCONPROD](#))
 - Схема компенсации отбора применяется для Блока С ([GCONINJE](#))
 - Для поддержания производительности трубопровода, Компания D будет бурить скважины всякий раз, когда добыча будет падать ниже целевого значения дебита

Групповой контроль за добычей



Создание иерархии групп: GRUPTREE



GRUPTREE

```
-- child parent /
GR-A1 PLAT-A /
GR-A2 PLAT-A /
GR-B1 PLAT-B /
GR-B2 PLAT-B /
SAT-B PLAT-B /
GR-S1 SAT-B /
GR-S2 SAT-B /
/
```

Ключевое слово GCONPROD

GCONPROD

-- 1	2	3	4	5
-- Имя	Режим	Дебит	Дебит	Дебит
-- группы	управления	нефти	воды	газа
FIELD	PRBL	5000	2000	5000

-- 6
-- Дебит
-- жидкости
5000

....

-- 14
-- Дебит в пласт.
-- условиях
6000

15
Доля
отбора
1

- ORAT
- WRAT
- GRAT
- LRAT
- RESV

Ключевое слово GCONINJE

GCONINJE

--1	2	3	4	5
--Имя	Фаза	Режим	Приемистость	Полная
--группы		управления	в пов. условиях	приемистость
--			4000	в пласт. условиях
FIELD	WAT	VREP		5000

4	5
Приемистость в пов. условиях	Полная приемистость в пласт. условиях
4000	5000

--6	7
--Доля	Доля
--обратной	компенсации
-- закачки	полного отбора
1	1 /

- RATE
- RESV
- REIN
- VREP

Задание Экономических Ограничений

- Экономические ограничения для месторождения/группы (GECON)
- Экономические ограничения для скважины (WECON)
- Экономические ограничения для отдельных соединений (CECON)
- Экономические ограничения действуют в случаях, когда:
 - Дебит нефти падает ниже своего предела
 - Обводненность превышает свое ограничение
 - Газовый фактор превышает свое ограничение

Экономические ограничения на скважины

WECON

--1	2	3	4	5
--Имя	Мин. дебит	Мин. дебит	Макс.	Макс.
--скважины	нефти	газа	обводненность	GOR
'P*'	1000	1*	0.5	1*
--6	7			
--Макс.	Операция			
--WGR	ремонта			
1*	CON	/		
/				

Пример задания группового контроля

SCHEDULE

WCONPROD

-- Name	Status	Ctrl	Oil	Water	Gas	Liq	Resv	BHP
PROD1	OPEN	GRUP	1*	1*	1*	5000	1*	250 /
PROD2	OPEN	GRUP	1*	1*	1*	5000	1*	250 /
PROD3	OPEN	GRUP	1*	1*	1*	5000	1*	250 /

Скважины находятся под групповым контролем

WCONINJE

-- Well Type	Status	Ctrl	Rate	Resv	BHP
GINJ GAS	OPEN	GRUP	1*	1*	3035 /

Газонагнетательная скважина находится под групповым контролем

GCONPROD

-- Group	Ctrl	Oil
FIELD	ORAT	15000 /

Групповой контроль для добывающих скважин

GCONINJE

-- Group	Phase	Ctrl	Rate	Resv	Rein
FIELD	GAS	REIN	1*	1*	1.0 /

Групповой контроль для нагнетательных скважин:
Обратная закачка

TSTEP

30*30 /



ECLIPSE

Schlumberger

Автоматические Ремонтные Работы

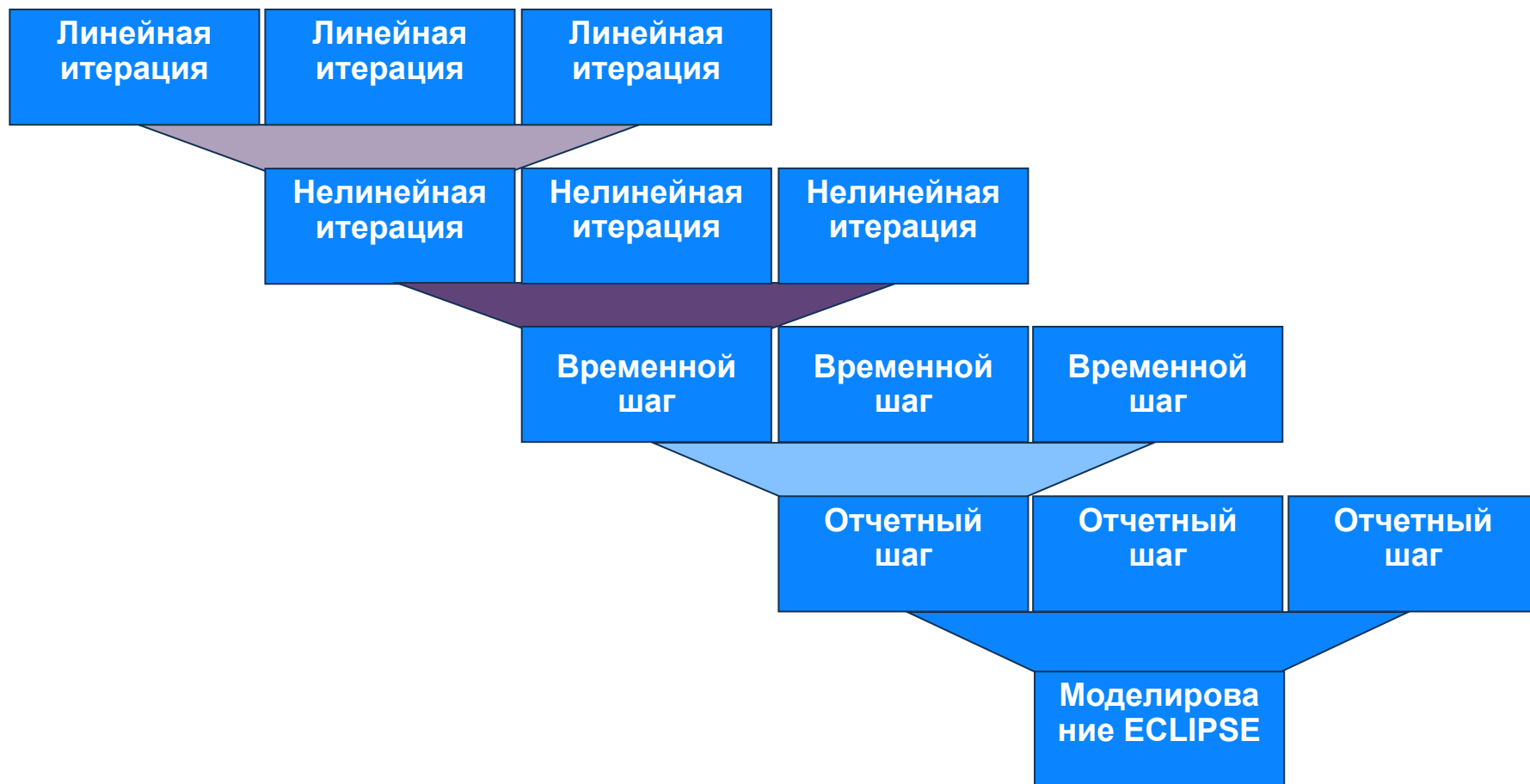
- Вызываются:
 - Ключевыми словами, задающими экономические ограничения (WECON, WECONINJ)
 - Максимальным ограничением в GCONPROD
- Примеры:
 - Тампонирование скважин (WPLUG)
 - Смена труб, добавление насосов/газлифтов (т.е. изменение VFP таблицы) (WLIFT)
 - Сокращение дебита для добывающих и нагнетательных скважин (WCUTBACK)

Сходимость

Цель Модуля

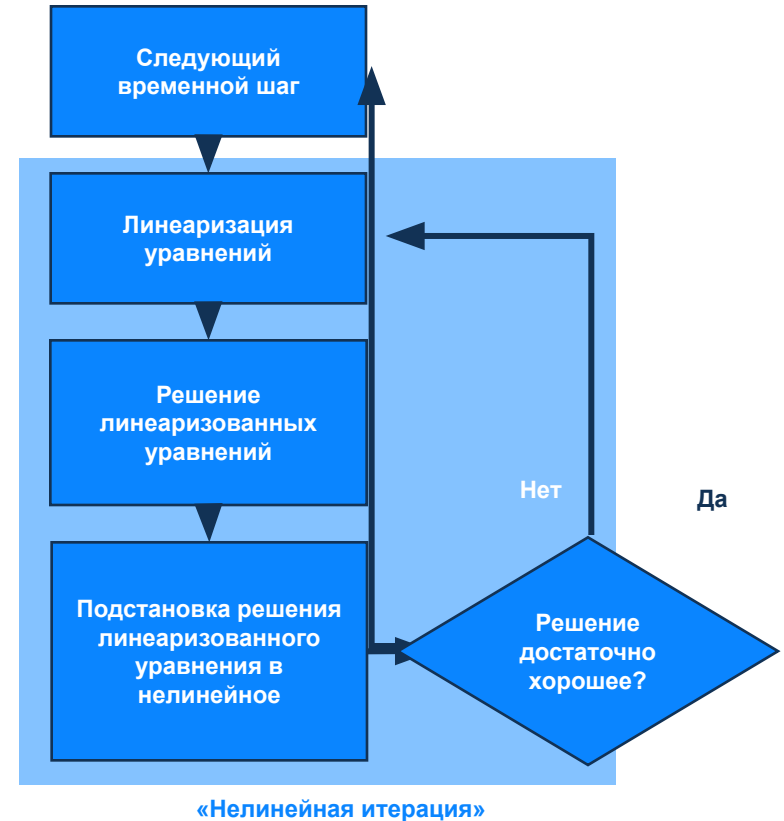
- Сходимость уравнений, использующихся в моделировании, влияет на:
 - Точность результатов
 - Скорость моделирования
- Установление проблем сходимости и их устранение – важная часть процесса моделирования

Уменьшение Времени Моделирования



Что Такое «Сходимость»?

- Для решения нелинейных уравнений ECLIPSE использует итерационный процесс, основанный на методе Ньютона



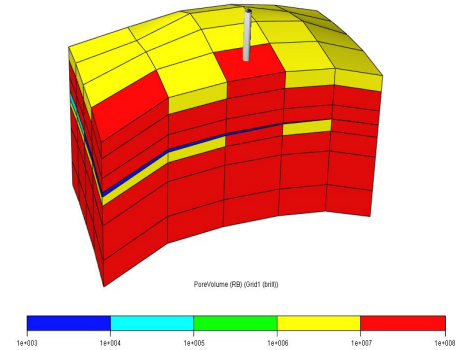
Ключевое Слово EXTRAPMS

- Выводит предупреждения о совершенных экстраполяциях PVT (или VFP) таблиц
- Если были предоставлены неполные PVT данные, ECLIPSE может экстраполировать PVT таблицы до неверных или нефизичных значений!

EXTRAPMS

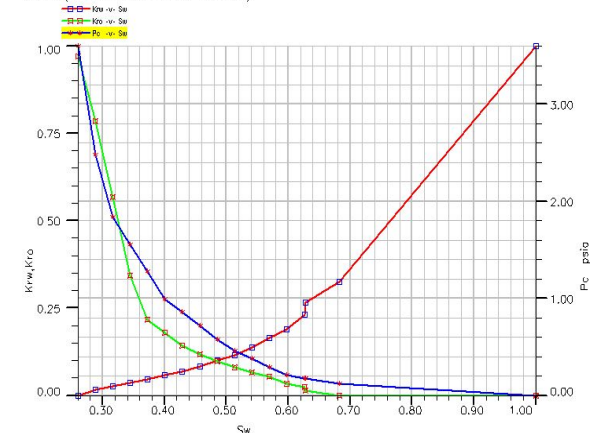
Основные причины проблемных ситуаций

- Ошибка в исходных данных
 - Типографические ошибки (опечатки)
 - Специальные символы и пропущенные значения
- Геометрия сетки
 - Ячейки с маленьким поровым объемом граничат с ячейками с большим поровым объемом
- Некорректно заданные ОФП



Деактивируйте с помощью MINPV!

SWOF (Water/Oil Saturation Functions)



END

$$\text{TRANX}_i = \frac{\text{CDARCY} \cdot \text{TMLTX}_i}{\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j}} \quad \text{Eq. 72.13}$$

where

$$T_i = \text{PERMX}_i \cdot \text{RNTG}_i \cdot \frac{A \cdot D_i}{D_i \cdot D_i}$$

with

$$(A \cdot D_i) = A_X \cdot D_{iX} + A_Y \cdot D_{iY} + A_Z \cdot D_{iZ}$$

and

$$(D_i \cdot D_i) = D_{iX}^2 + D_{iY}^2 + D_{iZ}^2.$$

A_X, A_Y and A_Z are the X-, Y- and Z- projections of the mutual interface area of cell i and cell j (which need not be neighbors in the Cartesian indexing grid), and

D_{iX}, D_{iY} and D_{iZ} are the X-, Y- and Z-components of the distance between the center of cell i and the center of the relevant face of cell i, these centers being obtained as the appropriate average.

The expression for T_j is analogous.

