

Гидродинамическое моделирование

Лекция 5 **СЕКЦИЯ GRID**

Цель Grid секции

- Геометрия пласта и основные свойства породы
- Размеры и глубины ячеек сетки, DX, DY, DZ, TOPS, или COORD и ZCORN
- Эти данные использованы для введения ячеек связанных с течением флюида.
- Пористость и песчаность для каждой ячейки, PORO, NTG
- Проницаемости для каждой ячейки PERMX, PERMY, PERMZ, PERMR, PERMTHT, PERMZ
- Модификаторы проводимости – ключевые слова “MULT”
- Они использованы для создания массивов поровых объемов, глубин и проводимостей для каждой ячейки
- Выше, на рисунке минимальные требования для этой возможности.
- Численные и сеточные водоносные пласты должны быть определены в секции GRID
- Опция активации ячеек (ключевое слово ACTNUM)
- Опция контроля зон выклинивания и минимального порового объема достаточного для активности ячейки.
- Ссылка на список ключевых слов доступных в GRID секции

Цель Grid секции

Назначение GRID секции

Размерность сетки & глубина ячеек	DX or DXV, DY or DYV, DZ, TOPS или COORD, ZCORN
Пористость	PORO
Проницаемость	PERMX, PERMY, PERMZ или PERMR, PERMTHT, PERMZ
Net-to gross or net thickness	NTG или DZNET (по умолчанию 1)

Для каждой ячейки сетки

Цель Grid секции

ECLIPSE не использует размеры ячеек и их свойства для расчета потоков флюида.

Вместо этого, для расчетов он использует поровый объем и проводимость. Данные необходимые для расчета этих величин в каждой ячейке должны быть переданы в ECLIPSE.

Цель Grid секции

Поровый объем рассчитывается по формуле

$$PV = DX \times DY \times DZ \times NTG \times \varphi$$

Где NTG – песчанистость, φ - пористость. Размеры ячейки для блочно-центрированной геометрии по X, Y и Z передаются с помощью ключевых слов DX или DXV, DY или DYV, DZ, или COORD и ZCORN для геометрии угловой точки.

Величина пористости также должна быть задана в каждой ячейке при помощи ключевого слова PORO, песчанистость (ключевое слово NTG) для каждой ячейки имеет значение по умолчанию равное 1.

Цель Grid секции

Из уравнения Дарси

$$Q = \frac{1}{\mu} \frac{KA}{L} \Delta P$$

Это уравнение применимо для горизонтального однофазного течения в одномерном случае в поверхностных условиях. Член KA/L может быть определен как проводимость между ячейками расчетной сетки (т.е. величина, обратная сопротивлению для течения жидкости между ячейками сетки). **ECLIPSE** должен рассчитать проводимости в направлениях X, Y и Z для каждой ячейки для расчета потоков в трех направлениях, для чего необходимы проницаемости и размеры ячеек. Так как песчанистость также оказывает влияние на величину потока между ячейками, то она должна учитываться при расчете проводимостей.

Цель Grid секции

С учетом песчанистости формула для расчета проводимости принимает вид:

$$T = \frac{KA \times NTG}{L}$$

Например, для расчета проводимости в направлении X:

$$T_x = \frac{K_x \cdot DY \cdot DZ \cdot NTG}{DX}$$

Цель Grid секции

Существует два способа задания геометрии сетки моделирования: блочно-центрированная геометрия и геометрия угловой точки. При задании блочно-центрированной геометрии используются ключевые слова DX, DY, DZ и TOPS.

Ячейки в блочно-центрированной геометрии прямоугольные с горизонтальными верхней и нижней поверхностями и вертикальными сторонами. При задании геометрии угловой точки используются ключевые слова COORD и ZCORN. Ячейки в геометрии угловой точки могут иметь разнообразную форму. Поэтому, с помощью геометрии угловой точки можно довольно легко смоделировать сложные геологические структуры, такие как наклонные разломы, выклинивания и поверхности выветривания.

Цель Grid секции

Описать геометрию угловой точки гораздо сложнее, чем блочно-центрированную, и поэтому объем данных при задании геометрии угловой точки намного больше. Программа подготовки данных GRID в основном используется для генерации этих данных.

Хотя проводимости не могут быть заданы в явном виде в секции GRID, они могут быть модифицированы несколькими методами, которые описываются ниже в этом разделе.

Соглашение на чтение данных

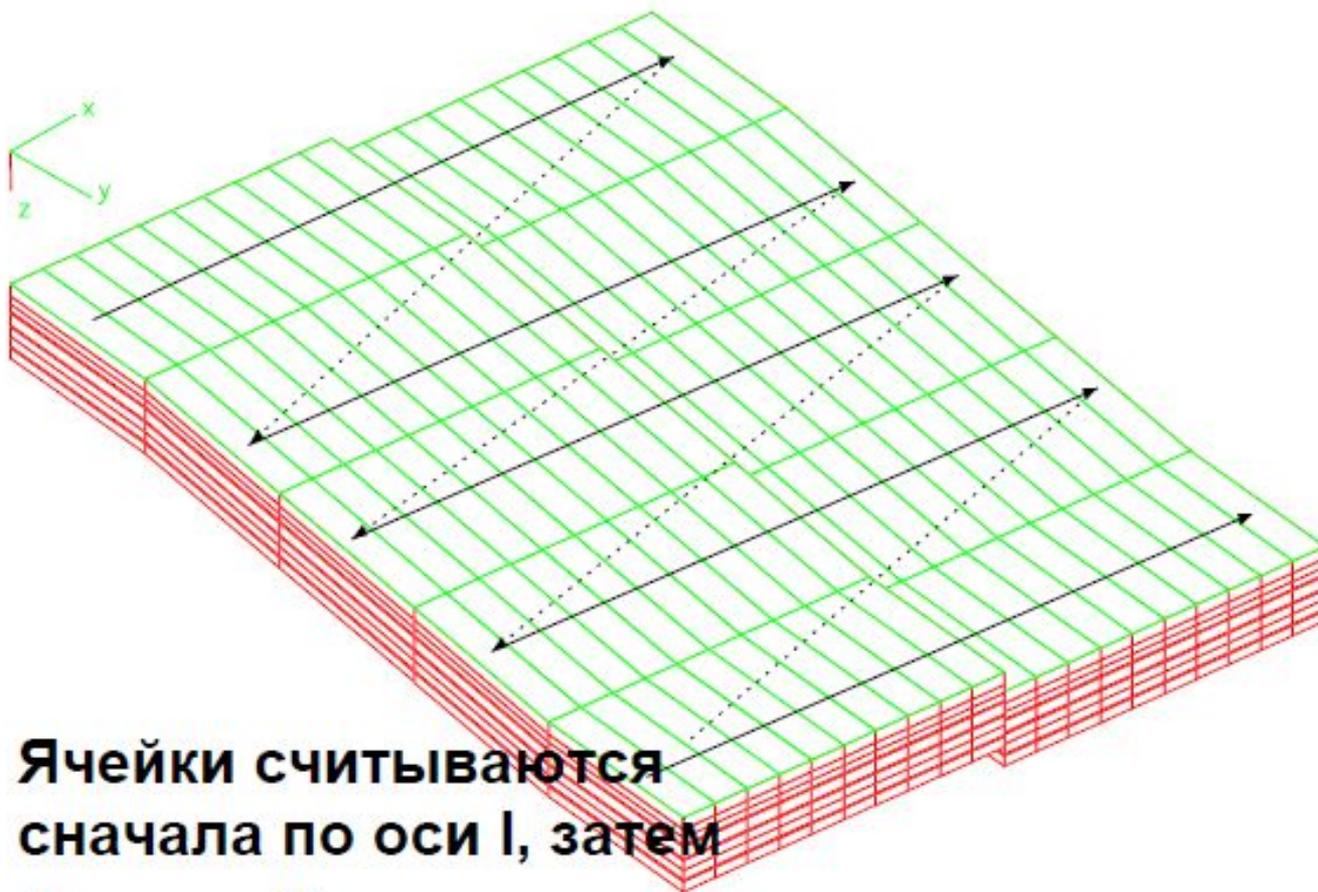
Декартовы координаты

- Начало координат находится в верхнем левом углу
- Значения по оси X увеличиваются слева направо; по оси Y сверху вниз
- В 3-D, блоки и узлы нумеруются слева на право, сверху вниз
- Начало сеточных координат не обязательно находится в углу ячейки (1, 1, 1)
- Оси X, Y и Z не обязательно параллельны направлениям I, J, K

Радиальные координаты

- Начало координат находится в центре сетки
- Значения увеличиваются в направлении R от центра.
- Угол θ измеряется по часовой стрелке.
- Z направлена вниз (т.е. как и в декартовой СК).

Соглашение на чтение данных



**Ячейки считываются
сначала по оси I, затем
J, затем K**

Соглашение на чтение данных

Соглашение на чтение данных

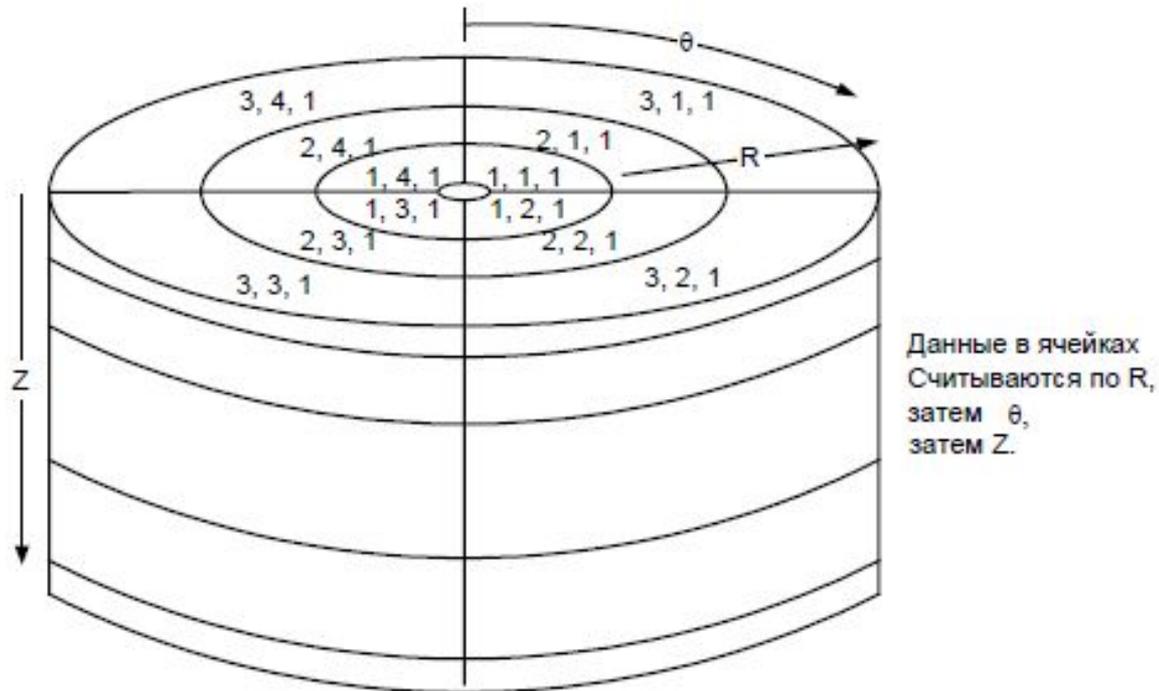
Для чтения данных в ячейках применяется следующее соглашение:

- Первая ячейка в которую записывается или из которой считывается значение имеет координаты (1, 1, 1)
- В Декартовой системе координат ячейка (1, 1, 1) находится в верхнем левом углу графического дисплея
- В радиальной системе координат ячейка (1, 1, 1) находится в центре модели.
- В Декартовой системе координат данных считываются в следующем порядке: быстрее всего изменяется значение X, затем Y, затем Z
- В радиальной системе координат данных считываются в следующем порядке: быстрее всего изменяется значение R, затем THETA, затем Z
- Все симуляторы **GEOQUEST используют это соглашение.**

Для примера модель $20 \times 5 \times 10$ как показано на рисунке, будет определена в секции RUNSPEC. **ECLIPSE будет считывать данные о геометрии и свойствах 1000 ячеек** для расчета поровых объемов и проводимостей в каждой ячейке. Первые 20 значений пористости будут считаны **ECLIPSE начиная с ячейки (1, 1, 1) и заканчивая ячейкой (20, 1, 1)**, т.е. верхний дальний ряд модели. Следующие 20 значений пористости считаются из ячеек начиная с (1, 2, 1) по (20, 2, 1) включительно, которые составляют следующий после верхнего дальнего ряд модели.

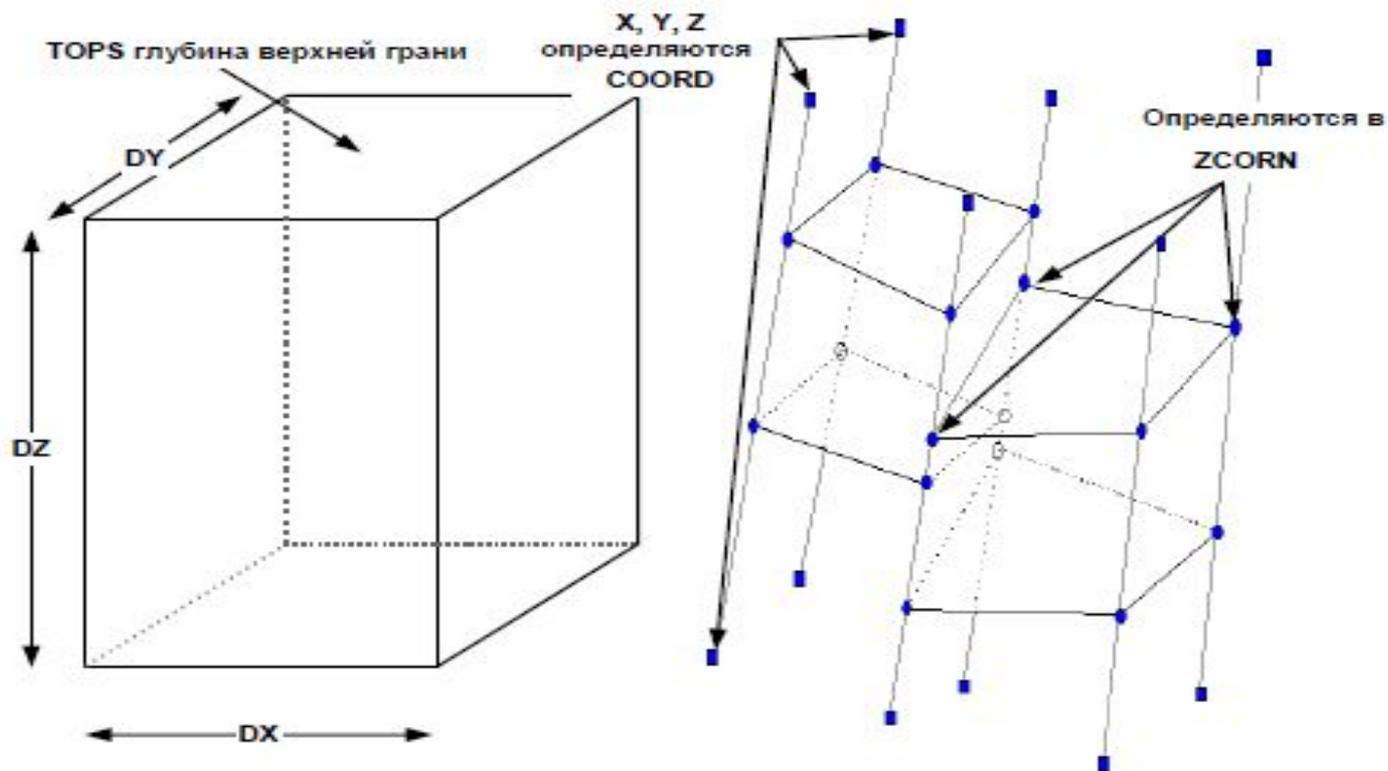
Соглашение на чтение данных

Данные в моделях с радиальной и декартовой системами координат считываются одинаково в последовательности I, J и K. Однако, в моделях с радиальной системой координат R заменяет X а θ заменяет Y. Z остается неизменной.



Геометрическое представление

- В ECLIPSE геометрия может быть описана двумя способами
- Блочно-центрированная геометрия (BC)
- Геометрия угловой точки (CP)
- У каждой геометрии есть свои преимущества и недостатки
- Выбор типа геометрии зависит от типа выбранной модели
- Блочно-центрированная геометрия и геометрия угловой точки не могут использоваться вместе, в одном файле данных



Геометрическое представление

Существуют два способа задания размеров и глубин ячеек.

Блочнo-центрированная геометрия (BC)

Для каждой ячейки требуется задать глубину верхней поверхности и размеры в направлениях X , Y и Z . Верхняя и нижняя поверхности ячеек горизонтальны, стороны вертикальны. Все ячейки имеют форму прямоугольников. Ключевые слова, используемые для задания блочно-центрированной геометрии в Декартовой системе координат, $TOPS$, DX (или DXV), DY (или DYV) и DZ . Ключевые слова, используемые для задания блочно-центрированной геометрии в радиальной системе координат, DR (или DRV), $DTHETA$ (или $DTHETA V$) и DZ . Ключевые слова, заканчивающиеся буквой V это векторные аналоги стандартных ключевых слов.

В блочно-центрированной геометрии каждая ячейка описывается всего четырьмя вещественными числами, поэтому описание модели с помощью блочно-центрированной геометрии будет менее объемным, чем описание этой же модели с помощью геометрии угловой точки. Простые модели могут создаваться при помощи блочно-центрированной геометрии без использования программ подготовки данных, например такой как **GRID**.

Геометрическое представление



Наклонная структура с разломом представленная в геометрии центральных блоков

Геометрическое представление

Рассмотрим соседние ячейки в блочно-центрированной геометрии в наклонной структуре, когда глубины верхних поверхностей ячеек различаются. Глубины верхних поверхностей ячеек по обе стороны разлома также будут разными. В блочно-центрированной геометрии невозможно отличить наклон от разлома.

Например, на разрезе, представленном на рисунке, нельзя определить без структурной карты, вертикальный разлом там, или наклонная структура. Блочно-центрированная геометрия не содержит информации достаточной для вычисления площади перекрытия между ячейками. Так как не известны глубины углов ячеек. Обычно между соседними ячейками флюиды перетекают, поэтому соединение должно быть определено и следовательно проводимость должна быть рассчитана. **ECLIPSE неявно предполагает, что ячейки имеющие соседние индексы – связаны** и соединяются на одном уровне, хотя на самом деле, это не так: ячейки, которые кажутся имеющими общие поверхности в реальности не соединяются. Это результат того, что блочно-центрированная геометрия не учитывает различия между разломами и наклонными пластами. Таким образом, если моделируем наклонную структуру блочной геометрией, то имеем несоседние соединения ячеек (NNC), и проводимость вычисленная для этого «несоседнего» соединения оказывается заниженной. Это решение будет нефизично.

Геометрическое представление

Геометрия угловой точки (CP)

Геометрия угловой точки основана на идее координатных линий и глубинах углов ячеек. Координатные линии определяются для каждого края столбца ячеек.

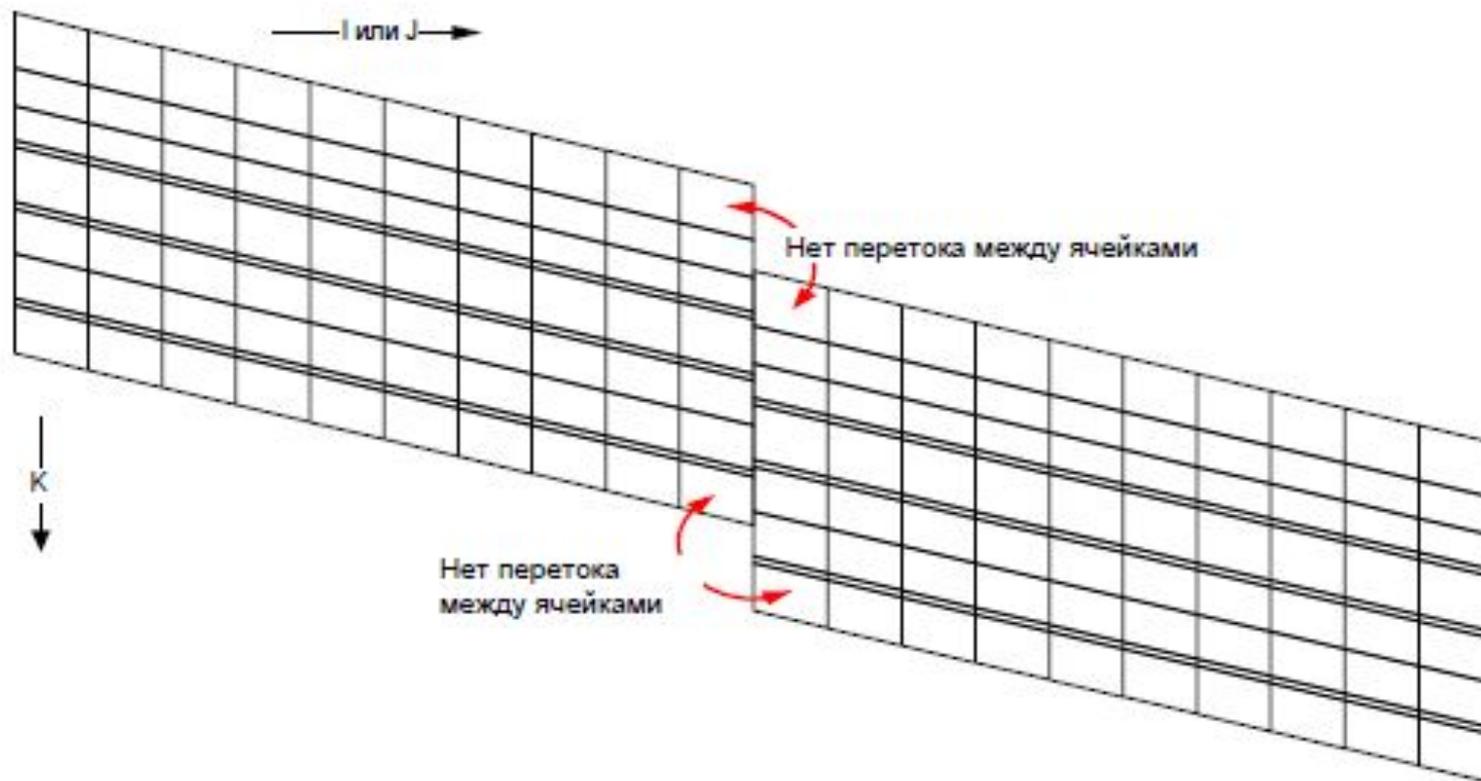
Координатные линии всегда прямые, но могут быть и не вертикальными. Каждую координатную линию определяют X, Y и Z координаты одной верхней и нижней точки.

Ячейки затем определяются фиксированием их углов вдоль каждой выбранной координатной линии. Это позволяет ячейкам иметь любую физически возможную форму: поэтому могут быть корректно представлены наклонные поверхности, поверхности разломов, зоны выклинивания и поверхности выветривания.

Каждая ячейка определяется четырьмя координатными линиями и восемью глубинами, CP геометрия более объемная чем BC и почти все случаи требуют для конструирования сетки использования пре-процессора, такого как GRID.

CP геометрия содержит достаточную информацию для вычисления перекрытия между прилегающими ячейками так как глубины угловых точек известны. В случае как на рисунке только те ячейки которые находятся внутри сетки - связаны. И так, жидкости в ячейках показанных стрелками не протекают через разлом.

Геометрическое представление



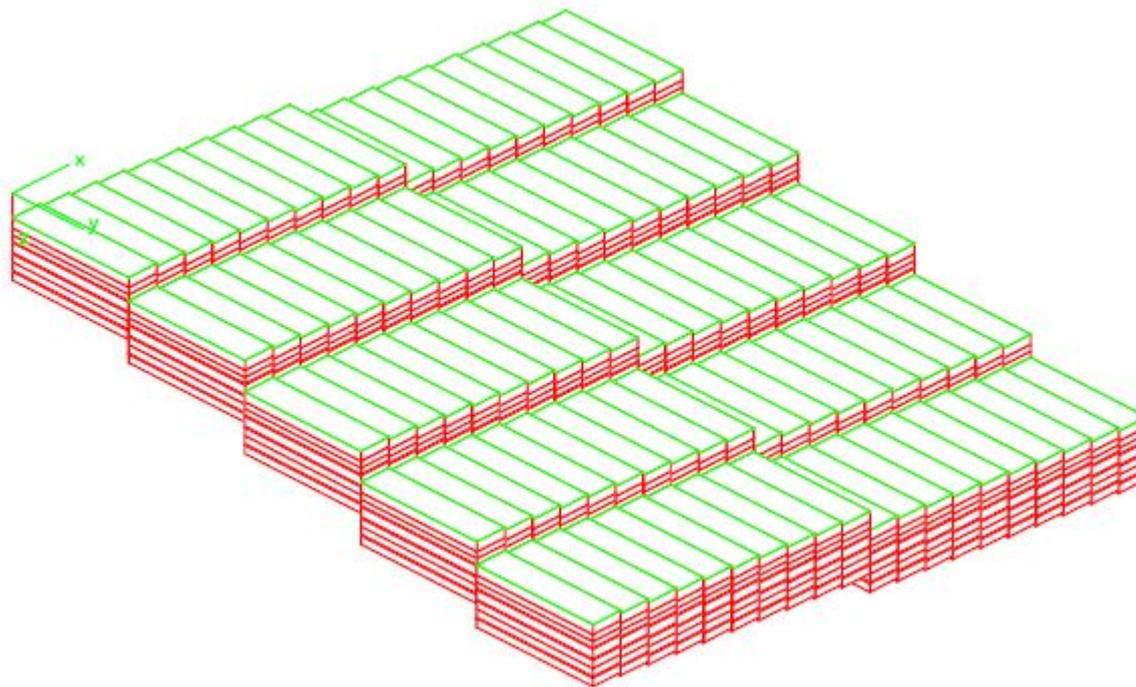
Наклонная структура с разломом в геометрии угловой точки

Геометрическое представление

Сравнение геометрии Угловой точки с геометрией Центральных блоков

BC	CP
Описание ячеек простое	Описание ячеек сложное
Pre-processor не обязателен	Необходим Pre-processor
Совместима со всеми другими симуляторами	Совместима с несколькими другими симуляторами
Нерегулярные структуры задаются приближенно	Нерегулярные структуры задаются точно
объем геометрических данных невелик	Большой объем геометрических данных
Не позволяет определить глубину разлома	Позволяет различить глубины разломов
Разломы и поверхности выветривания моделируются ошибочно.	Разломы и поверхности выветривания моделируются правильно
Устанавливает некорректное соединение ячеек у разлома. Требует ручной модификации	Слои прилегающие к разлому моделируются точно
Радиальную модель легко сконструировать	Радиальную модель очень сложно сконструировать без pre-processor –а.

Пример геометрии центральных блоков



- Модель 20*5*10 ячеек
- Модель наклонная в двух направлениях из точки (1,1,1), которая самая верхняя западная ячейка.
- Блоки величиной 300 ft в X направлении и 1000 ft в Y.
- Слои размерами 32, 22, 20, 4, 32, 4, 26, 26, 4, 28 ft сверху вниз.

Пример геометрии центральных блоков

Следующие ключевые слова содержат полное геометрическое описание структуры:

TOPS

--Определяются первые 20 TOPS (1, 1, 1) to (20, 1, 1)

6855.000 6865.000 6875.000 6885.000 6895.000
6905.000 6915.000 6925.000 6935.000 6945.000
7005.000 7015.000 7025.000 7035.000 7045.000
7055.000 7065.000 7075.000 7085.000 7095.000

--Следующие 20 TOPS определяются (1, 2, 1) to (20, 2, 1)

6930.000 6940.000 6950.000 6960.000 6970.000
6980.000 6990.000 7000.000 7010.000 7020.000
7080.000 7090.000 7100.000 7110.000 7120.000
7130.000 7140.000 7150.000 7160.000 7170.000

-- Следующие 20 TOPS определяются (1, 3, 1) to (20, 3, 1)

7030.000 7040.000 7050.000 7060.000 7070.000
7080.000 7090.000 7100.000 7110.000 7120.000
7180.000 7190.000 7200.000 7210.000 7220.000
7230.000 7240.000 7250.000 7260.000 7270.000

-- Следующие 20 TOPS определяются (1, 4, 1) to (20, 4, 1)

7130.000 7140.000 7150.000 7160.000 7170.000
7180.000 7190.000 7200.000 7210.000 7220.000
7280.000 7290.000 7300.000 7310.000 7320.000
7330.000 7340.000 7350.000 7360.000 7370.000

-- Следующие 20 TOPS определяются (1, 5, 1) to (20, 5, 1)

7205.000 7215.000 7225.000 7235.000 7245.000
7255.000 7265.000 7275.000 7285.000 7295.000
7355.000 7365.000 7375.000 7385.000 7395.000
7405.000 7415.000 7425.000 7435.000 7445.000

/ Это завершает TOPS для первого слоя

--Больше TOPS не нужно. Eclipse будет добавлять значение DZ к TOPS для расчета глубины следующего

слоя

Пример геометрии центральных блоков

DX

--Все ячейки имеют DX=300.

1000*300 /

DY

--Все ячейки имеют DY=1000

1000*1000 /

EQUALS

--Устанавливается высота DZ слоя за слоем

--Значения массива l1 l2 j1 j2 k1 k2

'DZ' 32 1 20 1 5 1 1 /

'DZ' 22 1 20 1 5 2 2 /

'DZ' 20 1 20 1 5 3 3 /

'DZ' 4 1 20 1 5 4 4 /

'DZ' 32 1 20 1 5 5 5 /

'DZ' 4 1 20 1 5 6 6 /

'DZ' 26 1 20 1 5 7 7 /

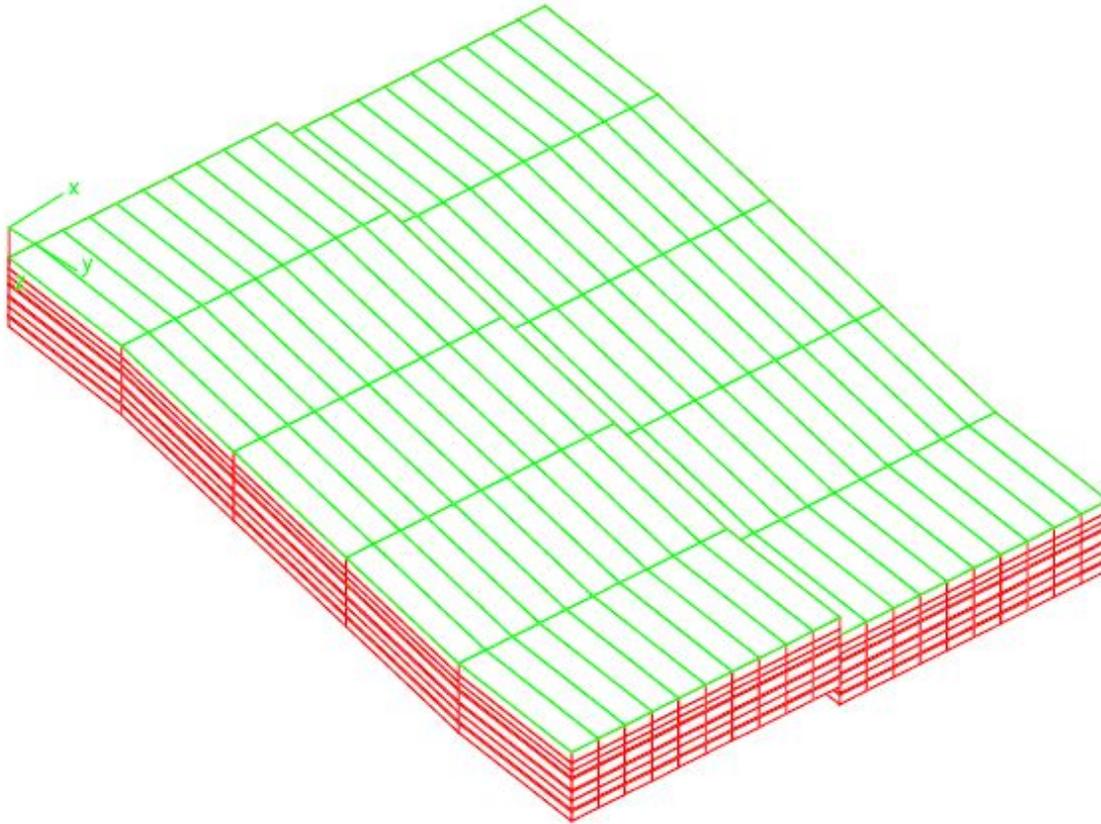
'DZ' 26 1 20 1 5 8 8 /

'DZ' 4 1 20 1 5 9 9 /

'DZ' 28 1 20 1 5 10 10 /

/

Пример представления модели в геометрии угловой точки



- Модель из предыдущего примера представлена теперь в CP версии.
- Координатные линии определяют вертикальные или наклонные стороны ячеек
- Соседние ячейки имеют общие координатные линии
- Эту информацию содержит ключевое слово COORD
- Восемь углов для каждой ячейки
- Эту информацию содержит ключевое слово ZCORN

Пример представления модели в геометрии угловой точки

COORD

--Определяет координатные линии

```
-- X1   Y1  Z1      X2      Y2   Z2
0.      0. 6825.000 0.      0. 7023.000
300.0000 0. 6835.000 300.0000 0. 7033.000
600.0000 0. 6845.000 600.0000 0. 7043.000
900.0000 0. 6855.000 900.0000 0. 7053.000
1200.000 0. 6865.000 1200.000 0. 7063.000
```

.....

.....

.....

/ Для модели размером 20 * 10, требуется 21*11 координатных линий, т.е. 231.

--Каждая линия определяется 6 числами, таким образом всего требуется 1386 чисел.

Пример представления модели в геометрии угловой точки

ZCORN

--Определяет глубины ячеек в порядке возрастания X (или R), затем Y (или ТНЕТА), затем Z

1953.463745 1953.451538 1953.451538 1953.428467 1953.428467 1953.395020
1953.395020 1953.351440 1953.351440 1953.298706 1953.298706 1953.240845
1953.240845 1953.179932 1953.179932 1953.119385 1953.119385 1953.061646
1953.061646 1953.003540 1953.003540 1952.938965 1952.938965 1952.854248
1952.854248 2262.983154 2262.983154 2262.133057 2262.133057 2261.328613
2261.328613 2260.558350 2260.558350 2259.826172 2259.826172 2259.303955
2259.303955 2258.930664 2258.930664 2258.488770 2258.488770 2258.023926
2258.023926 2257.561768 2257.561768 2257.068359 2257.068359 2256.478516
2256.478516 2255.797363 2255.797363 2255.108154 2255.108154 2254.459961
2254.459961 2253.865479 2253.865479 2253.337646 2253.337646 2252.891113
2252.891113 2252.560791 2252.560791 2252.378906 2252.378906 2252.331055
2252.331055 2252.474121 2252.474121 2252.915771 2252.915771 2253.517822
2253.517822 2254.188232 2254.188232 2254.982666 2254.982666 2255.978271
2255.978271 2257.189941 2257.189941 2258.449463 2258.449463 2259.707275
2259.707275 2260.960938 2260.960938 2262.190674 2262.190674 1949.721802
1949.721802 1949.695190 1949.695190 1949.675781 1949.675781 1949.671509
1949.671509 1949.679565 1949.679565 1949.693481 1949.693481 1949.710693
1949.710693 1949.721069 1949.721069 1949.725098 1949.725098 1949.721558

.....

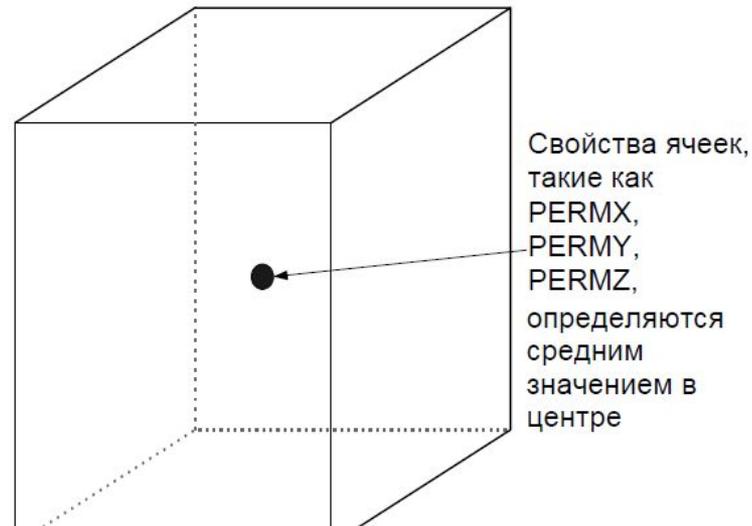
.....

.....

/ Для 1000 cells, требуется 8000 значений ZCORN.

--Здесь приведено только несколько

Свойства ячеек сетки



- Параметры которые описывают размер и глубину каждой ячейки относятся к геометрическим параметрам
- Ключевые слова используемые для задания геометрических параметров: TOPS, DX (or DXV), DY (or DYV), DZ для декартовой геометрии и TOPS, DR (or DRV), DTHETA (or DTHETA V) и DZ для радиальной геометрии, или для геометрии угловой точки - COORD и ZCORN.
- Параметры которые описывают пористость, проницаемость и т.д. относятся к свойствам.
- Ключевые слова используемые для задания свойств это: PORO (ϕ), PERMX (K_x), PERMY (K_y), PERMZ (K_z).
- Песчаность задается используя либо NTG (коэффициент песчаности) либо DZNET (толщина слоя).
- Ключевое слово используемое для указания активная ячейка или нет ACTNUM.

Свойства ячеек сетки

Ключевые слова для задания свойств нуждаются в одном значении для каждой ячейки. Есть много различных способов задания этих значений используя различные комбинации ключевых слов ECLIPSE. Значения свойств определяются в центрах ячеек и значение свойства распространяется на весь объем ячейки. Осреднение производится до введения данных в ECLIPSE, осредненное значение определяется пользователем. Заметим также что хотя некоторые ячейки исключены из моделирования (неактивные ячейки), должны быть предоставлены данные для расчета их поровых объемов и проводимостей. Это вызвано тем, что ECLIPSE содержит устройство для отключения ячеек из моделирования, основанное на расчете минимального порового объема ячеек. В ECLIPSE данные задаются только в виде явных значений. ECLIPSE не имеет устройства для введения данных в форме функций. Для примера пористость не может быть определена как функция проницаемости. Значения пористости генерируются пре-процессором, таким как GRID, и данные для каждой ячейки импортируются в ECLIPSE.

Как назначаются свойства ячейкам сетки



```

EQUALS
--Array Val      I1  I2  J1  J2  K1  K2
'PERMX' 2000/
'PERMX' 10       1   20  1   1   1   1 /
'PERMX' 5        1   20  1   1   2   2 /
'PERMX' 100     1   20  1   1   3   3 /
'PERMX' 200     1   20  1   1   5   5 /
'PERMX' 100     1   20  1   1   7   7 /
'PERMX' 50      1   20  1   1   8   8 /
'PERMX' 50      1   20  1   1  10  10 /
    
```

Как назначаются свойства ячейкам сетки

Как устанавливается одно значение свойства для каждой ячейки сетки

Стандартный формат

KEYWORD

Value1 value2 value3.....value(NX*NY*NZ)

/

К примеру,

PERMX

--K=1

10 10 10 10 10 10 10 10 10 10

10 10 10 10 10 10 10 10 10 10

--k=2

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

--k=3

100 100 100 100 100 100 100 100 100 100

100 100 100 100 100 100 100 100 100 100

--k=4

2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000

2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000

k=5

200 200 200 200 200 200 200 200 200 200

200 200 200 200 200 200 200 200 200 200

--k=6

2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000

2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000

--k=7

100 100 100 100 100 100 100 100 100 100

100 100 100 100 100 100 100 100 100 100

--k=8

50 50 50 50 50 50 50 50 50 50

50 50 50 50 50 50 50 50 50 50

--k=9

2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000

2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000

--k=10

50 50 50 50 50 50 50 50 50 50

50 50 50 50 50 50 50 50 50 50

Размерность модели

20*1*10

Как назначаются свойства ячейкам сетки

Значения для нескольких ячеек могут быть определены при помощи *,
к примеру

PERMX

20*10

20*5

20*100

20*2000

20*200

20*2000

20*100

20*50

20*2000

20*50

/

Размерность модели

20*1*10

Как установить значения для ячеек сетки используя боксы

Вводимый бокс определяется значениями I, J и K и относится к прямоугольному блоку ячеек. Бокс может быть участком, слоем, колонкой или рядом ячеек. В боксе могут быть установлены любые свойства ячеек сетки. Значение должно быть определено для всех ячеек бокса, включая находящиеся в на краях бокса. Бокс остается задействованным пока не начинается считывание нового бокса или не считано ключевое слово ENDBOX. Новый бокс закрывает предыдущий бокс и открывает следующий. По умолчанию, бокс включает все ячейки.

Например:

```
BOX  
--I1 I2 J1 J2 K1 K2  
1 20 1 1 1 10 /
```

**Размерность модели
20*1*10**

```
PERMX  
200*100/
```

```
ENDBOX
```

PERMX устанавливается равным 100 для ячеек от (1,1,1) до (20, 1, 10) т.е. для всей модели.

Как установить значения для ячеек сетки используя боксы

Меньшие боксы могут использоваться для установки проницаемости послойно: Например, для слоя 3

BOX

--I1 I2 J1 J2 K1 K2

1 20 1 1 3 3 /

PERMX

20*200/

ENDBOX

**Размерность модели
20*1*10**

Это изменяет значения PERMX установленные для всего слоя 3 на 200.

Единицы измерения: METRIC: mD, FIELD: mD, LAB: mD, PVT-M: mD

Как установить значения для ячеек сетки используя EQUALS

Ключевое слово EQUALS работает со свойствами как с массивом и может служить альтернативой ключевому слову BOX. EQUALS можно использовать в последнем примере для установки PERMX в слое 3 :

```
BOX  
--I1 I2 J1 J2 K1 K2  
1 20 1 1 3 3 /
```

```
EQUALS  
'PERMX' 100 /
```

```
ENDBOX
```

**Размерность модели
20*1*10**

Как установить значения для ячеек сетки используя EQUALS

EQUALS также может использоваться для определения области без использования ключевого слова BOX.

Например:

EQUALS

--Arrayvalue I1 I2 J1 J2 K1 K2

'PERMX'2000 / defaults to currently open box, i.e. entire reservoir

'PERMX'10 1 20 1 5 1 1 /

'PERMX'5 1 20 1 5 2 2 /

'PERMX'100 1 20 1 5 3 3 /

'PERMX'200 1 20 1 5 5 5 /

'PERMX'100 1 20 1 5 7 7 /

'PERMX'50 1 20 1 5 8 8 /

'PERMX'50 1 20 1 5 10 10 /

/

**Размерность модели
20*5*10**

определяет PERMX во всей секции. Этот блок открывается ключевым словом EQUALS и закрывается вторым прямым слэшем (/) который служит концом ключевого слова EQUALS. Для уверенности в том, что значения определены для всех ячеек мы рекомендуем определить сначала значения для всей сетки, переписывая их затем выборочно используя BOX и EQUALS.

Как складывать, вычитать, умножать и делить данные по ячейкам

Обычный формат для этих действий

<OPERATION>

'KEYWORD' Value I1 I2 J1 J2 K1 K2 /

'KEYWORD' Value I1 I2 J1 J2 K1 K2 /

'KEYWORD' Value I1 I2 J1 J2 K1 K2 /

/

Или

BOX

I1 I2 J1 J2 K1 K2 /

<OPERATION>

'Keyword' Value /

'Keyword' Value /

'Keyword' Value /

ENDBOX

Как складывать, вычитать, умножать и делить данные по ячейкам

Может быть откорректировано любое количество массивов. Ограничение боксом не обязательно (опционально). Если корректируются свойства всей модели, то в первом примере не указываются границы, во втором не применяются BOX и ENDBOX.

К примеру, проницаемость не всегда однородна и часто представляется как $K_v/K_h = 0.1$ (вертикальная/горизонтальная). Это можно определить для всего поля следующим образом (сначала надо присвоить значение 'PERMX' 'PERMZ'):

MULTIPLY

--Keyword Value I1 I2 J1 J2 K1 K2

'PERMZ' 0.1 / не выбираются пределы – исключены предыдущим открытым боксом

/ --этот последний слеш заканчивает ключевое слово MULTIPLY

Как складывать, вычитать, умножать и делить данные по ячейкам

К примеру для установки соотношения K_v/K_h только для первого слоя используется:

```
MULTIPLY
--Keyword Value I1 I2 J1 J2 K1 K2
'PERMZ' 0.1 1 20 1 5 1 1 /
/
```

Или

```
BOX
--I1 I2 J1 J2 K1 K2
1 20 1 5 1 1 /
MULTIPLY
--массив значение
'PERMZ' 0.1 /
ENDBOX
```

Как складывать, вычитать, умножать и делить данные по ячейкам

Для деления на какое-то число нужно умножить на обратную величину. Эти действия обратные. Таким образом, умножение на 10 после умножения на 2 приводит в результате к умножению на 20. Сложение происходит аналогично. К примеру, для увеличения пористости на 0,05 в той же области, используется:

ADD

--Ключевое слово Значение I1 I2 J1 J2 K1 K2

'PORO' 0.05 1 20 1 5 1 1 /

/ этот слеш завершает действие ключевого слова ADD

Или

BOX

--I1 I2 J1 J2 K1 K2

1 20 1 5 1 1 /

ADD

--Массив Значение

'PORO' 0.05 /

ENDBOX

Для вычитания добавьте отрицательное значение.

Как умножать значения пористости ячейки, используя MULTPV

Объем пор ячейки может быть увеличен с использованием MULTPV. Например,

MULTPV
200*1.01 /

увеличит объем пор первых 200 ячеек на 1%. Это может быть необходимо, к примеру, для того чтобы удостовериться, что моделирование объема флюида в пластовых условиях (запасов, FIP – fluid in place) соотносится с оценкой из других источников. Обратите внимание, чем больше объем пор, тем выше уровень поддержки давления в ячейке (это происходит за счет сжимаемости флюида). Объем пор, таким образом, не может сильно варьироваться, а согласование изменений общего давления в пласте может проводиться только после окончания манипуляций с объемом пор. Изменение объема пор происходит в процессе согласования для достижения одной из или обеих целей.

Как копировать данные из одной части сетки в другую, используя COPYBOX

Можно перенести данные из одной части сетки в другую, используя COPYBOX. Исходная и конечная области должны быть одного размера по координатам I, J, K.

Основная форма:

COPYBOX

Keyword	Source box	Destination box /
Ключевое слово	Бокс источник	Бокс получатель/

/

К примеру, для переноса значений пористости и проницаемости по координате x из слоя 1 в слой 2 используется:

COPYBOX

```
--Keyword I1S I2S J1S J2S K1S K2S
      PORO  1 20  1  5  1  1
      --I1D I2D J1D J2D K1D K2D
           1 20  1  5  2  2 /
PERMX 1 20 1 5 1 1
      1 20 1 5 2 2 /
/
```

Как считывать данные из другого файла, используя INCLUDE

Данные могут быть считаны прямо в файл данных ECLIPSE из внешнего файла, с использованием INCLUDE. Файл должен быть расположен в файловой системе и к нему можно обратиться по абсолютному или относительному пути. Не надо указывать путь, если файл расположен в той же директории, что и файл данных ECLIPSE. Все приводимые примеры имеют смысл при существовании файлов и путей к ним:

```
INCLUDE  
COORD.GRDECL /  
INCLUDE  
ZCORN.GRDECL /  
INCLUDE  
'../..'/GRID/PERMX.GRDECL' /  
INCLUDE  
'/tiny/user/hm2/griddata/outputs/PORO.GRDECL' /
```

INCLUDE используется для ввода большого количества данных. Кавычки используются если путь содержит символы, которые ECLIPSE может неоднозначно интерпретировать, к примеру прямой слеш и точка. В Unix-е обратите внимание на прописные буквы в имени файла. Вводимые файлы могут быть вложенными, т.е. содержать внутри себя INCLUDE. INCLUDE не может применяться с другими ключевыми словами.

Как деактивировать ячейки, используя ACTNUM

Любую ячейку можно сделать не активной, используя ACTNUM. ACTNUM в массиве свойств ячеек сетки может использоваться во всех приведенных примерах. ACTNUM может принимать только два значения 0 для неактивной, и 1 для активной ячейки. Препроцессор, такой как GRID часто используется для определения ACTNUM для включения в ECLIPSE. Неактивные ячейки исключаются из моделирования. ECLIPSE не рассчитывает потоки в этих ячейках. Графический вывод, однако, сильно не изменяется, т.к. расположение ячеек остается неизменным. ECLIPSE должен иметь достаточно информации, для расчета объема пор, мощности и проводимости неактивных ячеек (хотя они и неактивные). Неактивные ячейки отображаются при выводе. Данных, связанных с этими ячейками очень мало, т.к. большинство параметров не определены; отсутствующие значения заменяются несколькими прочерками.

Практическое занятие

Исходные данные:

Месторождение: Северо-Морское нефтяное

Размерность модели 15x8x5

Ввод в разработку 1 января 2012

Система единиц измерения российская

Геометрия угловой точки

(указать необходимые ключевые слова и количество значений для данной модели)

Задать песчанистость (70% для 1 и 5 слоев, 75% для 2 и 3 слоев и 65% для 4 слоя),

пористость (1,4,5 слои – 15%, 2 слой – 16%, 3 слой – 17%),

проницаемость в направлениях X и Y равна и составляет 15 мД для 1 слоя, 25 мД – для 2 и 3 слоев и 10мД для 4 и 5 слоев,

проницаемость по оси Z – 15% от проницаемости по горизонтали

Сделать:

секции Runspec и Grid по заданным параметрам

Назначение секции RUNSPEC

--Начало описания секции RUNSPEC
RUNSPEC

TITLE
Название модели/

DIMENS
--NX NY NZ
--Количество ячеек в I, J и K направлениях.
20 5 10 /

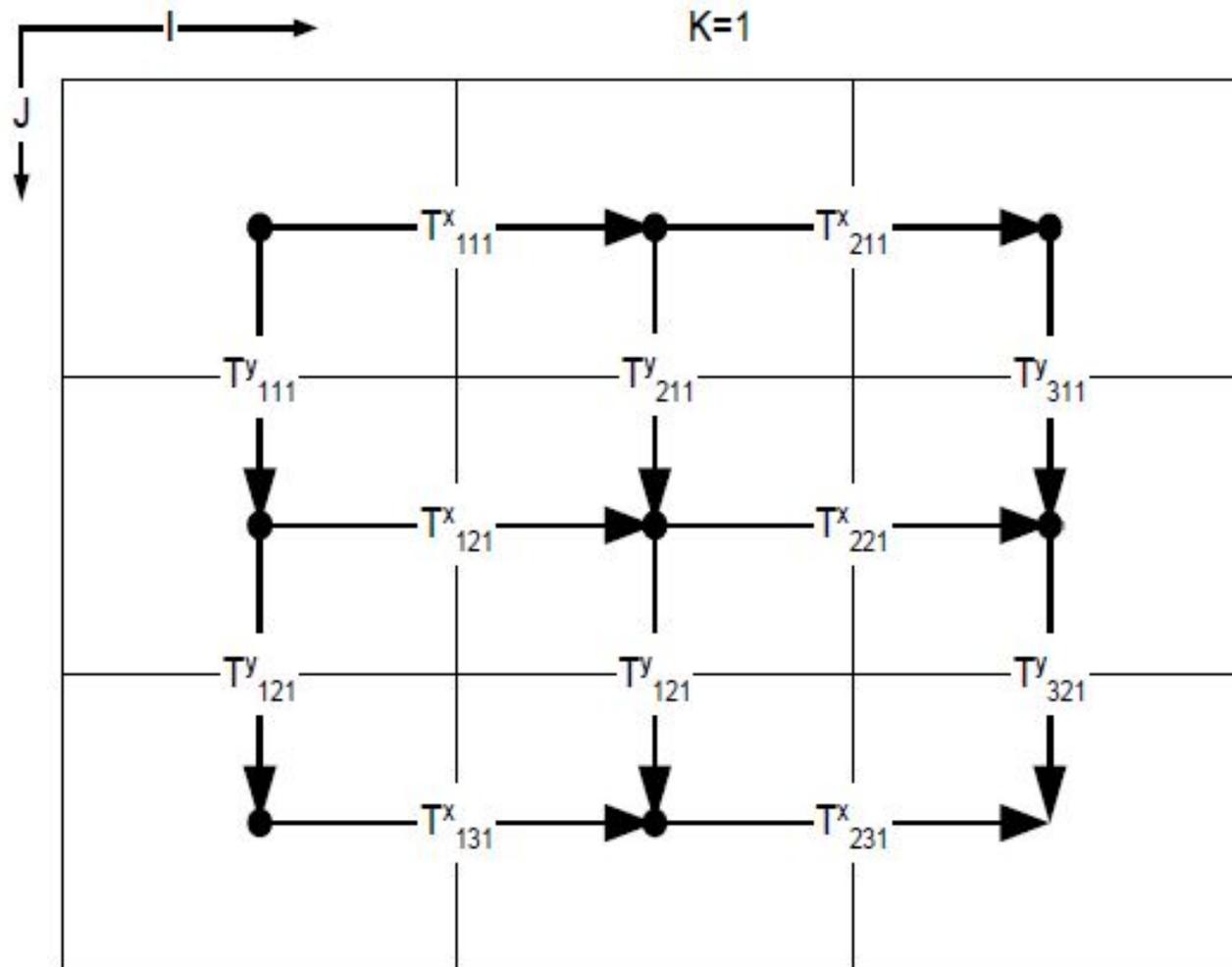
FIELD Задание единиц измерения: FIELD, METRIC или LAB
OIL Перечисление присутствующих фаз:
WATER OIL, WATER, GAS, DISGAS, VAPOIL

START Дата начала моделирования, например:
1 JAN 1990 /

Характеристики проводимости

- Проводимость – свойство, определяемое для смежных ячеек.
- Проводимость определяет перетоки флюидов между ячейками.
- Для правильного изменения проводимостей важно знать, как они определены.
- Проводимость в ECLIPSE между двумя ячейками рассчитывается в положительном направлении, т.е. в направлении вверх по потоку.
- $T^x_{i,j,k}$ между ячейками (I, J, K) и $(I+1, J, K)$ в направлении I
- $T^y_{i,j,k}$ между ячейками (I, J, K) и $(I, J+1, K)$ в направлении J
- $T^z_{i,j,k}$ между ячейками (I, J, K) и $(I, J, K+1)$ в направлении K
- На рисунке приведен пример направлений соединений
- Направление соединения представляет собой направление расчета проводимостей между ячейками с соседними IJK индексами.
- Каждая ячейка имеет 6 направлений соединений. Ячейка (I, J, K) соединена с $(I-1, J, K), (I+1, J, K), (I, J-1, K), (I, J+1, K), (I, J, K-1), (I, J, K+1)$.

Характеристики проводимости



Характеристики проводимости

Проводимость – свойство, определяемое для смежных ячеек, т.е. ячеек, между которыми возможно течение флюидов. Переток флюида рассчитывается между центрами ячеек. Величина этого перетока определяется проводимостью и подвижностью флюида между соседними ячейками.

Рассмотрим переток между центрами двух соседних ячеек. Проводимость должна учитывать свойства каждой ячейки, т.е. должна быть своего рода средним от свойств обеих ячеек, также учитывая геометрию ячеек и площадь их совместной поверхности.

Варианты расчета проводимости, используемые ECLIPSE будут описаны в следующей лекции. Некоторые из них больше подходят для определенной геометрии ячеек, чем другие. Все расчеты проводимости, однако, ведутся в направлении, вверх по потоку т.е. на определение проводимостей ячейки (I, J, K) влияют потоки к ячейкам $(I+1, J, K)$, $(I, J+1, K)$ и $(I, J, K+1)$.

Характеристики проводимости

Распределение подвижности флюида между соседними ячейками не зависит от проводимости. В расчете подвижности для течения между двумя ячейками используются данные о подвижности в текущей ячейке, в ячейке расположенной выше по потоку и их среднее. Из них наиболее значима подвижность в ячейке, расположенной вверх по потоку.

Иногда такую схему называют – «против потока». Идея схемы против потока состоит в следующем: значение параметра на грани ячейки, присваивается равным значению в соседней узловой точке, находящейся с подветренной стороны грани (со стороны грани противоположной той грани, в которую направлен поток). Для попадания в ячейку расположенную вверх по потоку, необходимо двигаться против потока флюида.

На первый взгляд это нелогично, потому как подвижность должна быть средней подвижностью флюидов между двумя блоками в определенный момент времени. Однако, по закону Дарси, флюид приходит в рассматриваемую ячейку, из ячейки с более высоким давлением, т.е. из ячейки расположенной выше по потоку. Использование подвижности вверх по потоку предполагает, что подвижность на грани ячейки равна подвижности флюида в центре ячейки расположенной вверх по потоку.

Характеристики проводимости

- Проводимость рассчитывается по-разному в геометрии блочно-центрированной и геометрии угловой точки
- Радиальная и декартовая проводимость также рассчитываются по-разному.
- Методы расчета запускаются с использованием ключевых слов OLDTRAN (блочно-центрированная), NEWTRAN (угловая), OLDTRANR (блочно-центрированная)
- Если OLDTRAN, OLDTRANR или NEWTRAN не определены, **ECLIPSE использует** OLDTRAN для блочно-центрированной геометрии и NEWTRAN для геометрии угловой точки автоматически.
- OLDTRAN рассчитывается как (среднегармоническая проницаемость) * (среднеарифметическую площадь)
- OLDTRANR - как среднегармоническое от (проницаемость * площадь)
- NEWTRAN – среднегармоническое проводимости половины ячейки
- Радиальная проводимость одинаково рассчитывается в блочно-центрированной и геометрии угловой точки
- Выражения основаны на радиальном потоке между радиусами с одинаковым давлением

Моделирование глин



- Каждый литологический слой может быть смоделирован как отдельный слой сетки
- Глины могут объединены со слоями песка
- Слои глин могут быть смоделированы как разрывы между слоями сетки

Моделирование глин

Моделирование глин явно, как слоев сетки

Этот способ способствует контролю свойств каждого слоя. Изменяя проницаемость, которая влияет на проводимость, можно контролировать поток, проходящий через глины. Хотя NTG глинистого барьера часто снижается до нуля, NTG не участвует в расчетах вертикальной проводимости. Однако, влияет на расчет горизонтальной проводимости, таким образом горизонтальный поток в глинах отсутствует.

Т.к. глинистые пласты очень тонкие, объем пор ячеек глинистого барьера сравнительно ниже, чем объем пор соседних ячеек.

Возможные трудности:

- Если модель использует ключевые слова PINCH и/или MINPV для деактивации ячеек и установления связей через выклинивающиеся ячейки, ячейки, содержащие глины могут быть исключены из моделирования. Ячейки, деактивированные MINPV, становятся барьерами на пути потока. Ячейки тоньше пороговой величины исключаются из процесса моделирования и ячейки с разных сторон слоя взаимодействуют так, как будто глины отсутствуют. Таким образом, глины могут представляться в виде барьера на пути потока, или игнорироваться.

Моделирование глин

Моделирование глин явно, как слоев сетки

Возможные трудности:

- Соседство ячеек с большим и малым объемом пор может приводить к проблемам сходимости пропускной способности. Рассмотрим две соседние ячейки с объемом пор 1 м³ и 1000 м³. **ECLIPSE рассчитывает** нефтенасыщенность с точностью ± 0.001 . Если нефтенасыщенность рассчитана как 0.5, то запасы нефти в пласте (OIP) в каждой ячейке составляют 0.5 ± 0.001 м³ и 500 ± 1 м³. OIP одной ячейки меньше чем погрешность измерения OIP другой, т.е. наибольшая ячейка определяет пропускную способность меньшей. Это может привести к проблемам сходимости, чего следует избегать.
- Если существует большое количество протяженных глинистых слоев, их моделирование может потребовать введения неразумно большого количества ячеек, что приведет к перерасходу времени.

Моделирование глин

Моделирование глин путем включения в более крупные песчаные ячейки

Глины могут объединяться с песчаными слоями. Для этого необходимо ввести чистую толщину песка, используя DZNET или NTG где

$$NTG = \frac{DZNET}{DZ}$$

Отметим, что присваиваемая пористость ячейки должна быть равна пористости чистого песка, а не средней пористости всей ячейки.

Этот метод «размазывает» глину по всей ячейке, но распределение объема пор по высоте является некорректным. Также, вертикальная проводимость между геологическим слоем глин и соседним песчаным слоем больше не равна нулю. Горизонтальная проводимость в глине так же не нулевая. Горизонтальная проводимость в песке снижается. Все эти проводимости, в особенности в вертикальном направлении могут быть пересчитаны с использованием одного или нескольких ключевых слов "MULT". Что позволяет решить проблему схождения пропускной способности и уменьшить количество ячеек в моделировании. Также снижаются или исчезают полностью сложности, связанные с тем, что неизвестно, какие именно ячейки в ECLIPSE будут деактивированы ключевыми словами MINPV или MINPVV.

Моделирование глин

Моделирование глин как промежутков между слоями песка

Использование некоторых препроцессоров для подготовки сетки, таких как **GRID**, позволяет отделять один слой от другого. Пространство между слоями $K=1$ и $K=2$ не заполняется ячейками; оно пустое. Вертикальная проводимость между слоями $K=1$ и $K=2$, однако, не нулевая. Она рассчитывается так, как укажет пользователь, и разрыв не оказывает на это влияния. Таким образом глинистый слой исключается, а вертикальная проводимость между слоями может регулироваться **MULTZ** и/или **MULTZ**- увеличивая или уменьшая вертикальный поток. Горизонтальная проводимость и распределение порового объема в слоях 1 и 2 такие же, как если бы глины были явно включены в модель – т.е. не изменяется. Это позволяет решить проблему схождения пропускной способности и уменьшить количество моделируемых ячеек и изменять вертикальный поток между слоями вне зависимости от пористости и проницаемости глин.

Изменение проводимости

- Проводимость часто могут изменять (при адаптации модели)
- Вверх по ходу движения потока проводимость может быть явно установлена с использованием TRANX/TRANY/TRANZ, TRANR/TRANTHT (в разделе EDIT)
- Вниз по ходу движения потока проводимость может быть установлена явно используя TRANX-/TRANY-/TRANZ-, TRANR-/TRANTHT- (в разделе EDIT)
- Вверх по ходу движения потока проводимость может быть умножена с использованием MULTX/Y/R/THT/Z
- Вниз по ходу движения потока проводимость может быть умножена с использованием MULTX-/Y-/R-/THT-/Z-
- Коэффициент потоковой проводимости применяется при использовании GRIDOPTS в RUNSPEC
- Множитель проводимости не влияет на проницаемость
- Разлом может быть задан с использованием ключевого слова FAULTS
- Проводимость разлома вверх по ходу движения потока может быть умножена с использованием ключевого слова MULTFLT
- Коэффициенты проводимости не накапливаются; они влияют на прямые и несоседние соединения

Изменение проводимости

Проводимость может быть изменена несколькими способами. Один из самых простых – изменение входной проницаемости. Это может быть сделано изменением проницаемости с использованием “PERM” или умножением проницаемости некоторый известный коэффициент, используя MULTIPLY. Однако, этот способ можно использовать не всегда. К примеру, если глинистый барьер неопределенного размеров и проницаемости моделируется как разрыв между двумя пластами, а не как ячейки, должна быть задана проводимость через разрыв. Она может быть задана напрямую, через TRANZ и/или TRANZ- или умножением, используя MULTZ и/или MULTZ-.

Действие ключевых слов изменения проводимости

“TRAN” и “MULT” влияют на проводимость по ходу течения потока,
“TRAN”- и “MULT”- в направлении против течения потока

Два последних могут использоваться только если установлен соответствующий параметр в GRIDOPTS в разделе RUNSPEC

MULTX, MULTY, MULTZ изменяют проводимость по ходу течения потока по направлениям X, Y и Z соответственно

MULTX-, MULTY-, MULTZ- изменяют проводимость против течения потока по направлениям X, Y и Z соответственно

MULTR, MULTTHT изменяют проводимость по ходу течения потока по радиусу и азимуту (по часовой стрелке)

MULTR-, MULTTHT- изменяют проводимость против течения потока по радиусу и азимуту (против часовой стрелки)

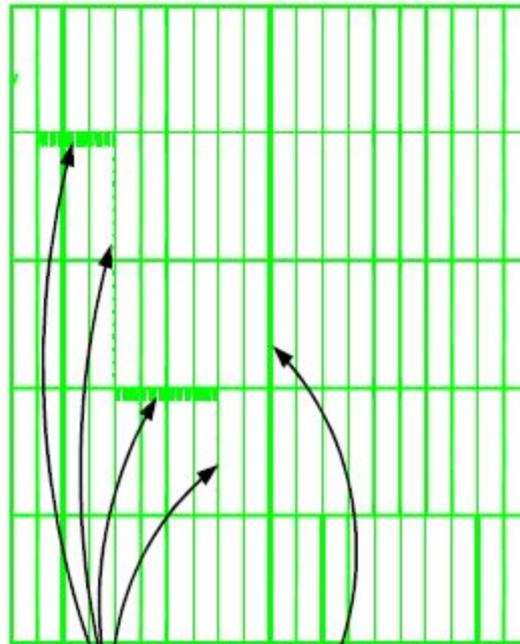
Взаимодействие между множителями проводимости может быть комплексным.

Действие ключевых слов изменения проводимости

Необходимо учитывать следующее:

- Все ключевые слова, приведенные на предыдущем слайде, используются как в блочно-центрированной геометрии, так и в геометрии угловой точки
- MULTZ и MULTZ- используются в радиальной и в декартовой системах координат
- Множители “MULT” не накапливаются
- Если MULTIPLY используется для постоянного изменения проводимости, то оно накапливается
- Множители “MULT” влияют на прямые или нормальные соединения
- Множители “MULT” не влияют на несмежные соединения, созданные с использованием NNC (явные NNCs созданные пользователем)
- Множители “MULT” влияют на несмежные соединения, созданные ECLIPSE, например, соединения через разлом
- Если оба множителя “MULT”, по потоку и против потока определены между двумя ячейками, результат умножения относится к проводимости. К примеру, если MULTX задан для ячейки (I, J, K) а MULTX- для (I+1, J, K) рассчитанная проводимость между ячейками умножается на результат MULTX и MULTX-
- Множитель “MULT”, включенный в раздел GRID, влияет только на проводимость, рассчитанную в этом разделе
- Множитель “MULT”, включенный в раздел EDIT влияет на расчет проводимости, сделанный в разделе GRID

Изменение проводимости



Zig-zag разлом
FLT-1

Прямой разлом FLT-2

FAULT

--Name IX1 IX2 IY1 IY2 IZ1 IZ2 FACE

Слой с 1 по 10

FLT-1 2 4 1 1 1 10 Y /

FLT-1 4 4 2 3 1 10 X /

FLT-1 5 8 3 3 1 10 Y /

FLT-1 8 8 4 4 1 10 X /

FLT-2 10 10 1 5 1 10 X /

/

MULTFL

--Name TMULT

'FLT-1' 0.0 /

/

EQUAL

--Array Val. I1 I2 J1 J2 K1 K2

'MULTX 0.0 10 10 1 5 1 10 /

/

Несоседнее соединение (NNC)

Обычно течение ожидается между соседними ячейками, и моделируется как прямое соединение между ячейками с соседними индексами (I, J, K). Точное определение многих структур, однако, часто требует, чтобы ячейки с несмежными индексами (I, J, K) были бы расположены рядом друг с другом и тогда между ними существует поток. Примером является поток через разлом с очень большим сдвигом. Другие ситуации, требующие использования NNCs в геометрических описаниях, используемых ECLIPSE – локальные измельчения сетки (LGR) и подключение подошвенных вод.

Несоседнее соединение (NNC)

NNC допускает существование перетоков флюидов между ячейками с несоседними индексами IJK

NNC необходимо если ожидаются перетоки между несоприкасающимися ячейками

Создание NNC возможно по умолчанию

Для отключения этой функции используйте NONNC в RUNSPEC

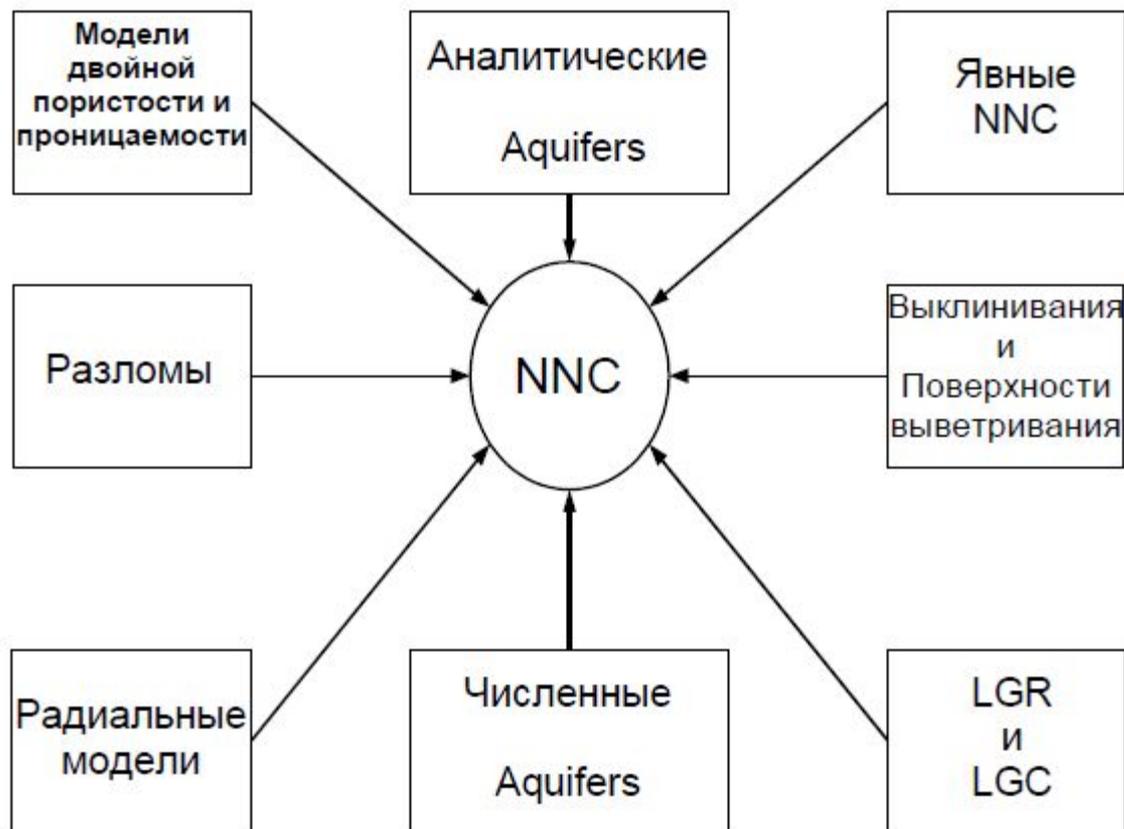
NNCs и проводимость между ними **создаются автоматически** в следующих случаях:

- При наличии разломов, для создания которых использовался NEWTRAN (геометрия угловой точки)
- При присутствии выклиниваний и поверхностей выветривания, созданных при помощи ключевых слов PINCH или PINCHOUT
- В локальных измельчениях и закруглениях сетки
- В моделях двойной пористости

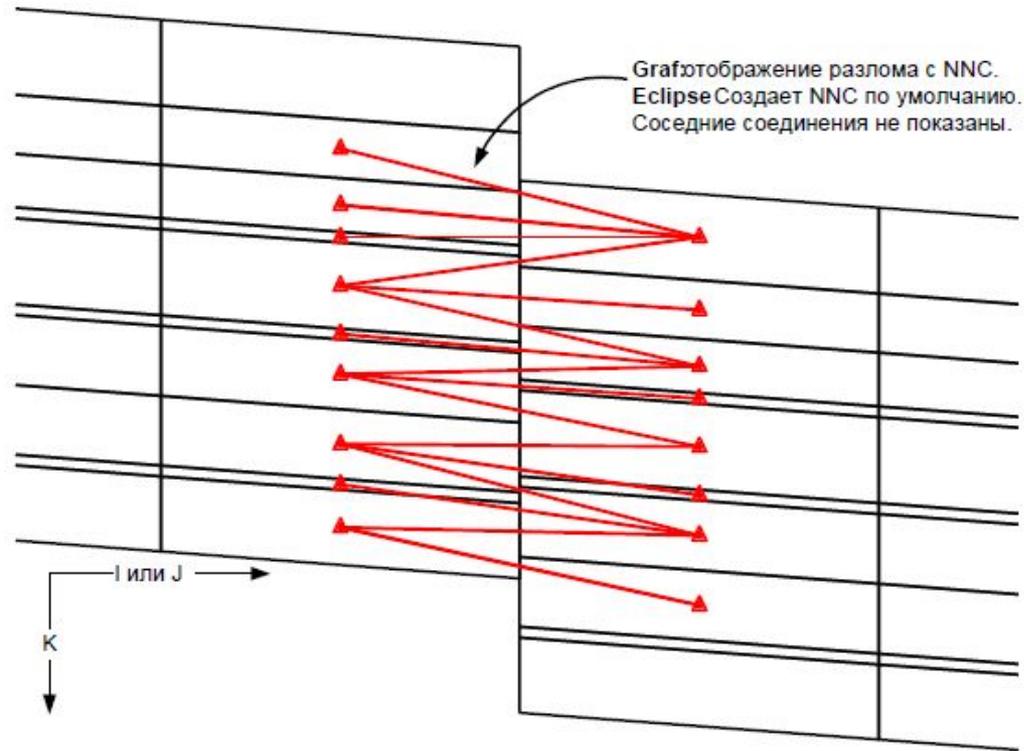
В радиальных моделях с использованием ключевого слова COORDSYS **явно** задаются проводимости NNC «для замыкания окружности»

Для водоносного горизонта проводимости NNC должны быть определены **явно**
Кроме того, NNC могут быть созданы между любой парой ячеек сети в моделях, использующих ключевое слово NNC. Проводимость таких NNC должна

Несоседнее соединение (NNC)



Создание несоседнего соединения через разлом



- Разломные NNC создаются автоматически при отсутствии NONNC в разделе RUNSPEC
- Разломные NNC создаются при использовании NEWTRAN
- Значения проводимости вычисляются автоматически

Создание несоседнего соединения через разлом

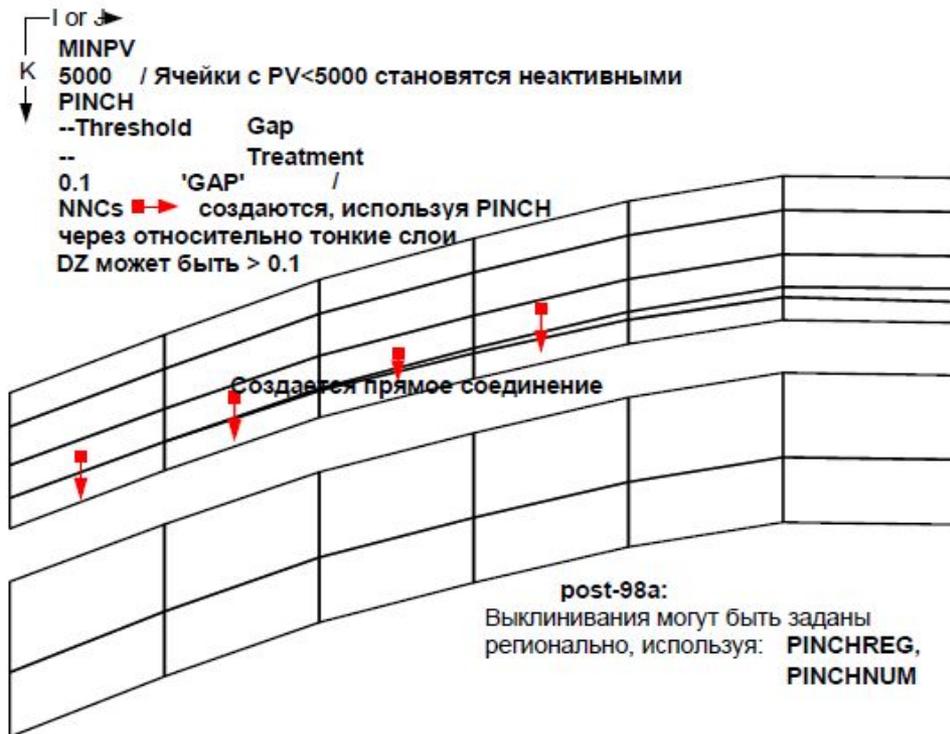
Если NNC не запрещены ключевым словом NONNC, то при наличии разломов они создаются, если это необходимо и возможно.

В геометрии угловой точки, где NEWTRAN используется по умолчанию NNC создаются автоматически, без участия пользователя. Использование OLDTRAN в геометрии угловой точки не рекомендуется, так как это ключевое слово запрещает создание разломных NNC.

В блочно-центрированной геометрии, где OLDTRAN используется по умолчанию, ECLIPSE не хватает геометрической информации о том, связаны ли ячейки через разлом и разломные NNCs не создаются. Хотя в блочно-центрированной геометрии возможно использование NEWTRAN, это не дает дополнительной геометрической информации.

Создание несоседних соединений через

выклинивания



- ECLIPSE позволяет слоям иметь нулевую толщину, что позволяет моделировать зоны выклинивания и поверхности выветривания (когда слой нулевой толщины - имеем несоседнее соединение)
- PINCH создает NNC через слои с DZ меньше, чем заданное пороговое значение, если NONNC не применялся (т.е. если толщина ячейки меньше порогового значения имеем несоседнее соединение)
- PINCH содержит переключатели для создания NNC через слои с DZ больше пороговых значений, если ячейки деактивированы MINPV

Создание несоседних соединений через ВЫКЛИНИВАНИЕ

Геометрия угловой точки позволяет ячейкам иметь непрямоугольную форму, что является мощным средством для точного моделирования выклиниваний и поверхностей выветривания. Хотя эти структуры очень различаются геологически, с точки зрения геометрии сетки моделирования они определяются сходным образом. NNC создаются через неактивные ячейки с толщиной меньше заданного значения при использовании PINCH. К примеру,

PINCH

0.01 /

создаст NNC между ячейками расположенными выше и ниже ячейки с DZ (толщиной ячейки) меньше 0.01 фута или метра в зависимости от установленной системы исчисления.

Однако, определенное количество ячеек будут автоматически деактивированы ECLIPSE. Для того, чтобы избежать проблем сходимости, ECLIPSE деактивирует все ячейки с объемом пор меньше, чем 10-6 м3 или Rb (reservoir barrel). Это ограничение может быть увеличено, но не уменьшено, с использованием MINPV. Например,

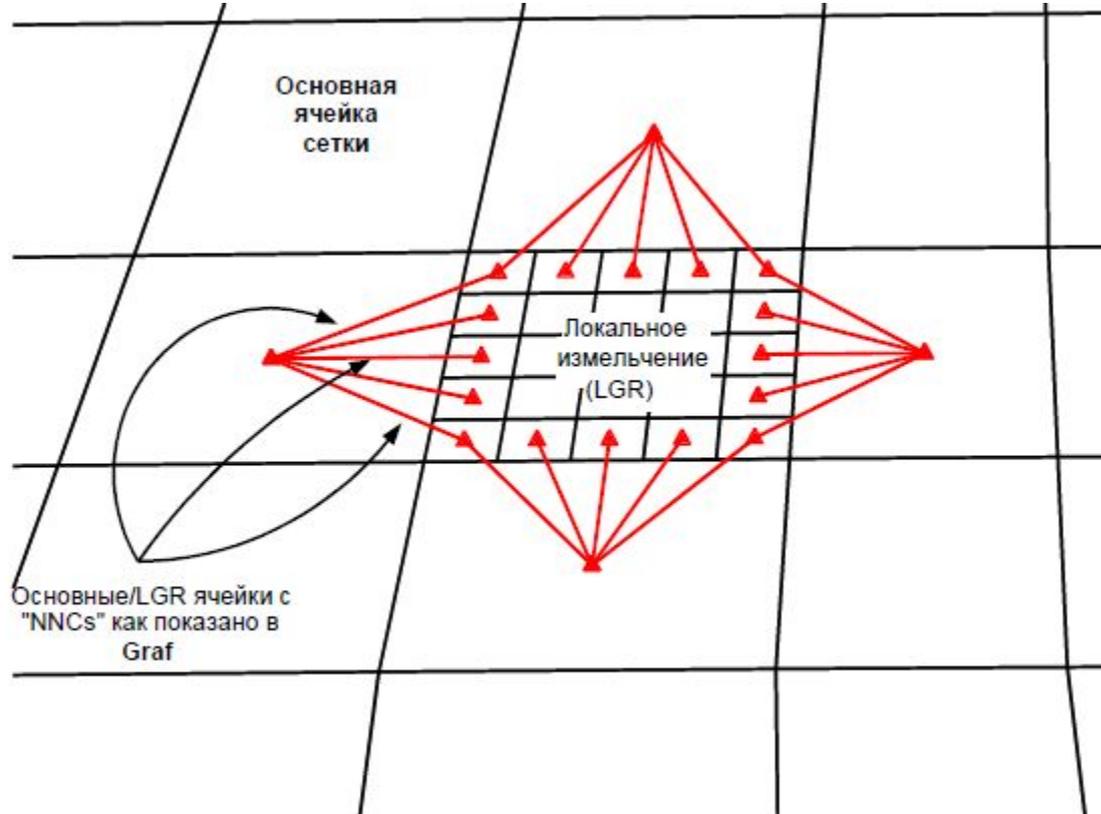
MINPV

5000 /

будет деактивировать все ячейки с объемом пор меньше 5000 Rb в модели, использующей единицы FIELD. Эти ячейки не используются в моделировании и при решении уравнений. По умолчанию они не являются барьерами на пути потока и нет гарантии, что PINCH создаст NNC через них. Если второй пункт PINCH установлен на 'GAP', ECLIPSE создает NNC через ячейки,

деактивированные MINPV

Создание несоседних соединений в местах локальных измельчений сетки (LGR)



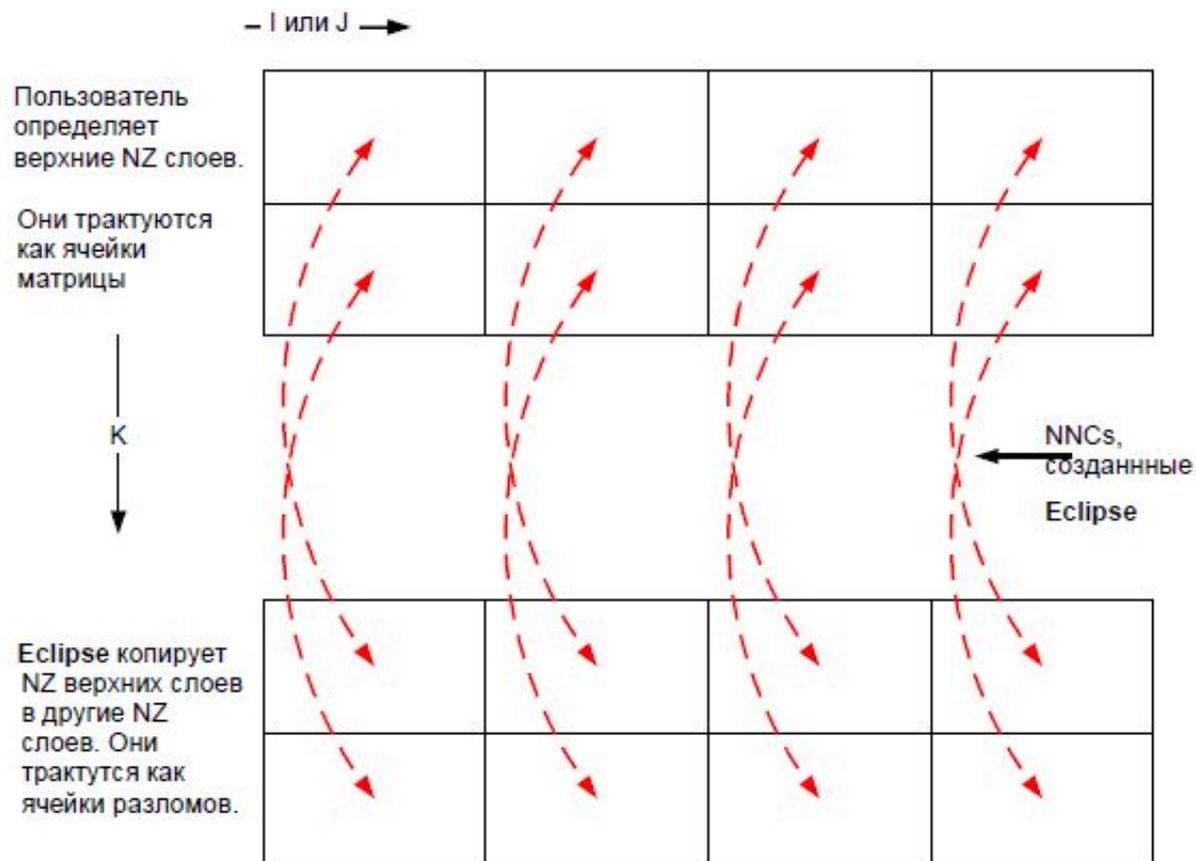
- ECLIPSE автоматически создает NNC между основными ячейками и измельченными ячейками в местах локального измельчения сетки.

Создание несоседних соединений в местах локальных измельчений сетки (LGR)

Ячейки, входящие в локальное измельчение сетки (LGR) используют индексы I, J и K локализованные в каждой LGR. Ячейки LGR редко будут иметь индексы смежные с соседними глобальными ячейками. При моделировании с использованием LGR, ECLIPSE сообщает о NNC между ячейками LGR и соседними основными ячейками. Это не совсем NNC; а скорее удобная форма сообщения, т.к. LGR рассчитывается отдельно от глобальной сети и не существует прямого потока между LGR и основной сеткой.

Пользователь не может изменить такие NNC.

Несоседние соединения в моделях с двойной пористостью



- ECLIPSE удваивает количество слоев в моделях с двойной пористостью
- Верхняя половина – ячейки матрицы, нижняя половина – ячейки трещин
- Матричные и соответствующие ячейки разломов автоматически соединяются NNC

Несоседние соединения в моделях с двойной пористостью

В пластах с двойной пористостью флюиды присутствуют в двух взаимосвязанных системах:

- В матрице (теле) горной породы (rock matrix), которая обычно обеспечивает большую часть вмещающего объема пласта-коллектора
- В высокопроницаемых трещинах (fractures), пересекающих тело горной породы

Если ячейки матрицы связаны только через систему трещин, то данная система называется системой **двойной пористости - одинарной проницаемости** (dual porosity single permeability system), в данном случае фильтрация флюида происходит только через систему трещин, а содержится флюид в основном в ячейках матрицы.

Если же существует и возможность перетока флюидов напрямую между ячейками матрицы, минуя систему трещин, то данная система называется системой **двойной пористости - двойной проницаемости** (dual porosity dual permeability system)

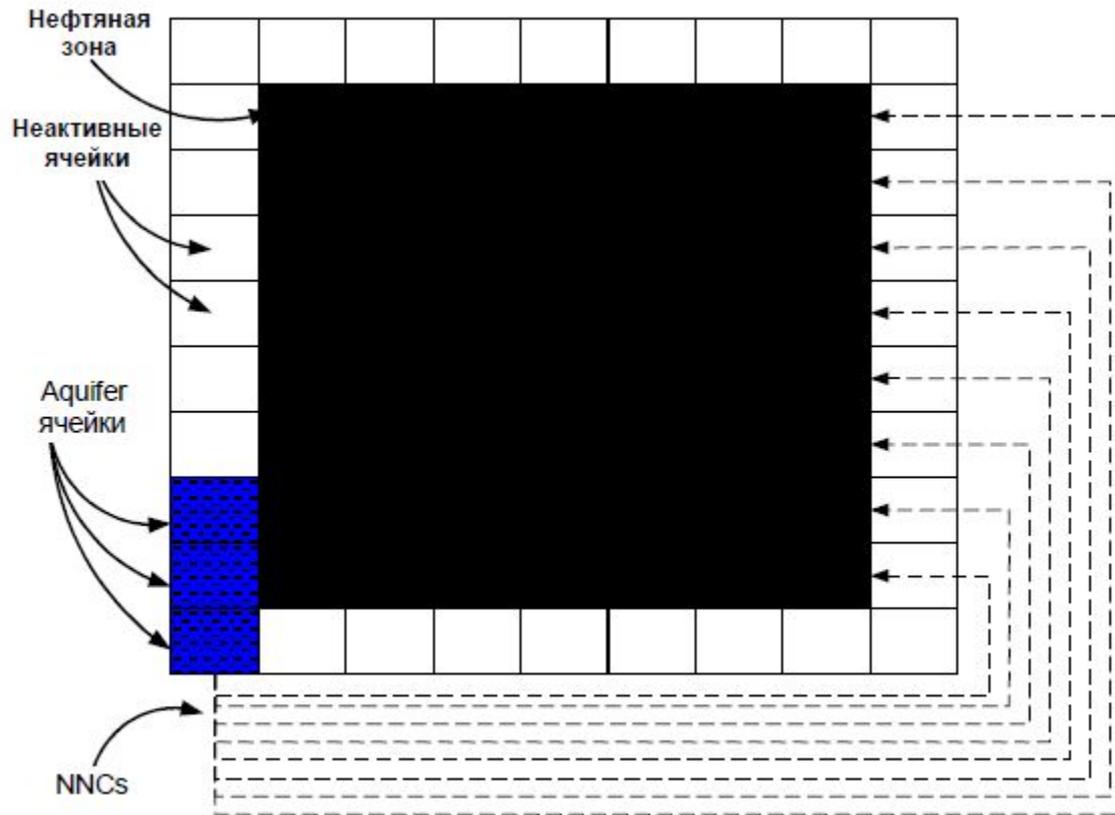
Несоседние соединения в моделях с двойной пористостью

Пласты с двойной пористостью и двойной проницаемостью моделируются в ECLIPSE путем разделения матрицы и трещин на отдельные группы ячеек, соединенных автоматически создаваемыми NNC.

Пользователь может создать сетку пласта как обычную. Затем использовать ключевое слово DPGRID для того, чтобы дать команду ECLIPSE удвоить количество слоев в модели и копировать свойства каждого дополнительного слоя с уже существующего. Верхние слои назовем ячейками матрицы, а нижние – ячейками трещин. Пользователь должен ввести данные по свойствам ячеек трещин (пористость), коэффициент перетока, связывающий матрицу и трещины и функции насыщения, как для матричной ячейки, так и для трещин.

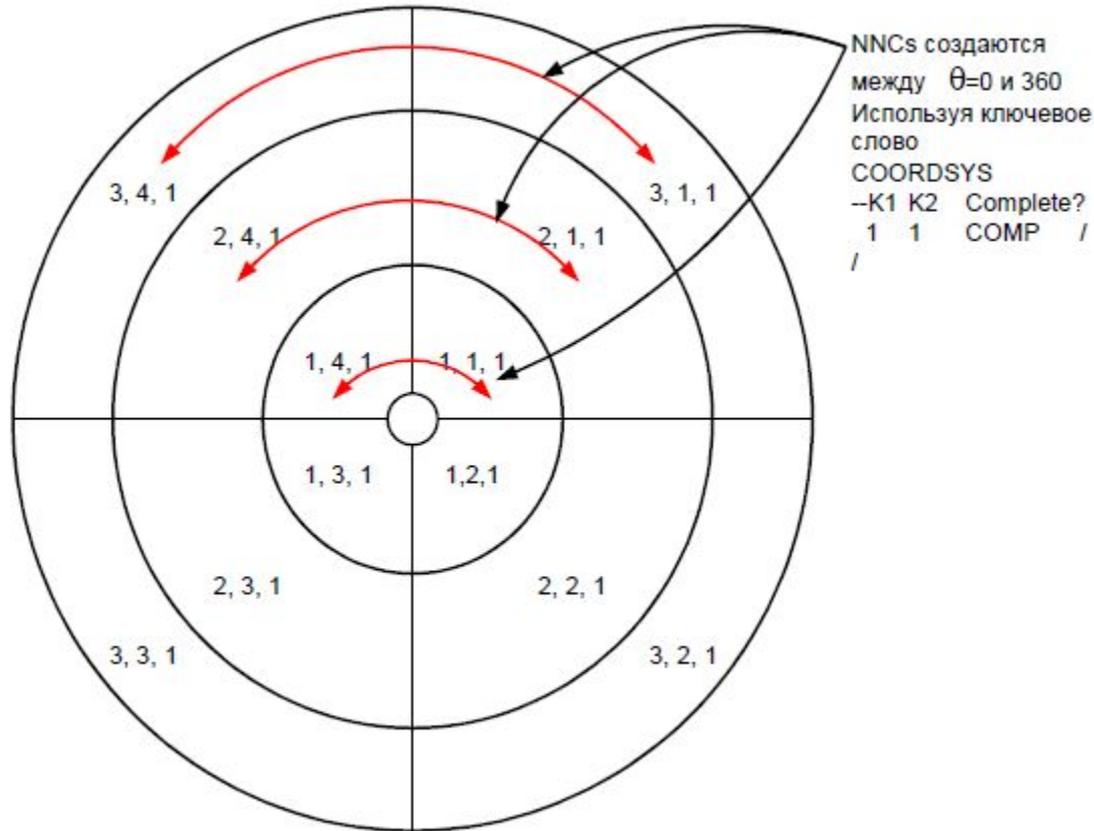
В моделях с двойной пористостью не существует перетока между ячейками матрицы, поэтому перфорация скважины должна попадать в нижнюю часть модели (т.е. быть связанной с трещиной). В моделях с двойной проницаемостью поток матрица-матрица имеет важное значение, а перфорации скважин должны указываться в ячейках трещин и матрицы.

Создание несоседних соединений для подошвенных вод



- Водоносные горизонты (aquifer) подсоединяют к пласту коллектору при помощи NNC
- Местоположение данных NNC должно быть задано явно
- Проводимость NNC может быть изменена

Создание несоседних соединений в радиальных моделях



- Ячейки, имеющие границы с $\theta = 0^\circ$ и 360° несмежные
- Для создания NNC необходимо включить несоседнее соединение и «замкнуть окружность»

Создание несоседних соединений в радиальных моделях

Как правило, поток в окрестностях скважины не обязательно направлен радиально к стволу скважины. Для полного замыкания тангенсальной составляющей потока, должно быть создано NNCs между ячейками с гранями 0° и 360° . Это относится к блочно-центрированной радиальной модели и к радиальной модели угловой точки. Создание NNC между этими ячейками включается ключевым словом COORDSYS. Для замыкания окружности в верхних четырех слоях шестислойной модели используется

COORDSYS

--K1 K2 Complete?

1 4 COMP /

5 6 INCOMP /

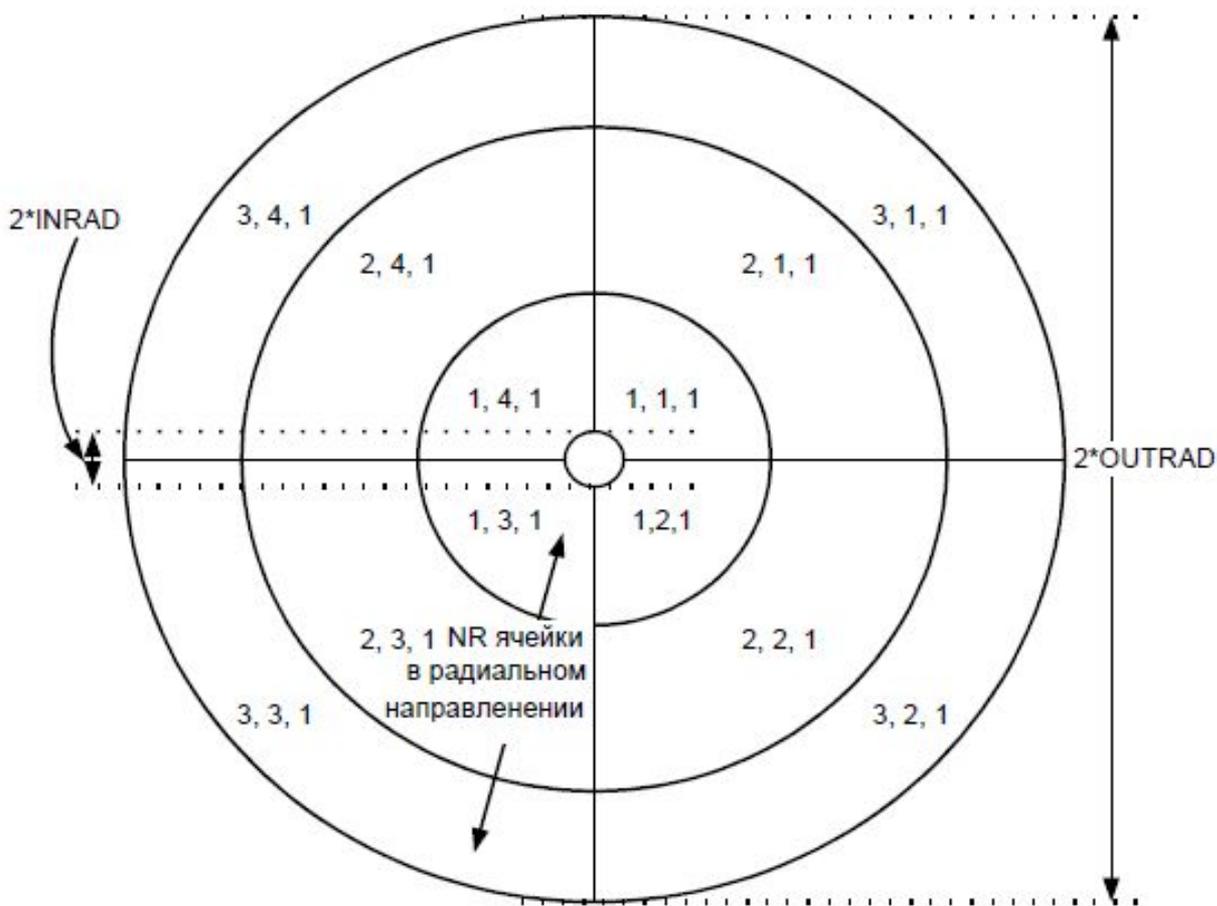
/

При использовании ключевого слова NONNC в RUNSPEC данное действие будет запрещено.

Радиальные модели

- Для включения радиальной функции используйте ключевое слово RADIAL в RUNSPEC
- Значения I,J,K относятся к радиальному, тангенсальному и вертикальному направлениям
- Тангенсальные расстояния измеряются по часовой стрелке в градусах во всех системах единиц (metric, field и т.д.)
- Внутренний радиус задается ключевым словом INRAD
- Количество ячеек в радиальном направлении задается NR в RUNSPEC
- Радиальные размеры ячейки устанавливаются с помощью DR (или DRV) или рассчитываются ECLIPSE если определен внешний радиус (OUTRAD)
- Тангенсальные и вертикальные параметры устанавливаются с помощью DTHETA (или DTHETA_V) и DZ

Радиальные модели



Геометрия радиальной модели

Радиальные модели

По умолчанию используется Декартова геометрия модели. Для создания радиальной модели используйте ключевое слово RADIAL в разделе RUNPSEC . Размеры модели определяются ключевым словом DIMENS они определяются числом ячеек в радиальном, тангенсальном и вертикальном направлениях (NR, NTHETA and NZ) вместо NX, NY и NZ.

Многие ключевые слова используемые для определения в радиальной геометрии и свойств ячеек сети отличаются от ключевых слов используемых в Декартовой версии. В общем X меняется на R, Y на THETA, а Z остается неизменной. В таблице приведены основные от

BC Cartesian	BC Radial	CP Cartesian	CP Radial
NX, NY, NZ	NR, NTHETA, NZ	NX, NY, NZ	NR, NTHETA, NZ
DX, DY, DZ	DR, DTHETA, DZ	COORD, ZCORN	COORD, ZCORN
DXZ, DYV, DZ	DRV, DTHEATAV, DZ	COORD, ZCORN	COORD, ZCORN
PERMX, PERMY, PERMZ	PERMR, PERMTHI, PERMZ	PERMX, PERMY, PERMZ	PERMR, PERMTHI, PERMZ
PORO	PORO	PORO	PORO
MULTX (-), MULTY (-), MULTZ (-)	MULTR (-), MULTTHI (-), MULTZ (-)	MULTX (-), MULTY (-), MULTZ (-)	MULTR (-), MULTTHI (-), MULTZ (-)
TRANX, TRANY, TRANZ	TRANR, TRANTHI, TRANZ	TRANX, TRANY, TRANZ	TRANR, TRANTHI, TRANZ

Радиальные модели

Центр радиальной модели обычно скважина (пустое место в центре диаграммы с радиусом INRAD). Это необходимо для того, чтобы скважина не занимала каких-либо соседних ячеек и чтобы учитывался объем пор в пространстве вокруг ствола скважины (при несовпадении INRAD с радиусом скважины выводится предупреждение).

Радиальная геометрия модели может быть задана 3 способами; наиболее популярен третий:

1. Определение промежуточных радиусов по умолчанию
2. Определение промежуточных радиусов пользователем
3. Неполное определение радиусов пользователем

Радиальные модели

Определение промежуточных радиусов по умолчанию

Внешний радиус может быть задан используя OUTRAD. В таком случае количество ячеек между INRAD и OUTRAD равняется NR, определенному в RUNPSEC, а величина их радиусов соответствует логарифмическому распределению, основанному на зависимости:

$$R_{i+1} = R_i \left(\frac{R_{NR-1}}{RU} \right)^{1/(NR-1)}$$

где

R_{i+1} - радиус $i+1$ ой ячейки

R_i - радиус i ой ячейки

R_{NR-1} - внутренний радиус крайнего блока

RU - последний радиус, определенный пользователем

NR - количество ячеек в радиальном направлении

Радиальные модели

Определение промежуточных радиусов пользователем

Внешний радиус может быть задан используя OUTRAD. Средние радиусы ячеек могут быть установлены с помощью DR или DRV, также с использованием INRAD.

Неполное определение радиусов пользователем

По умолчанию средние радиусы рассчитывается ECLIPSE на основании логарифмической прогрессии, что может привести к слишком малым размерам ячейки в пространстве около ствола скважины, что в свою очередь может привести к трудностям при вычислении. По распространенной практике радиусам около скважины присваиваются определенные пользователем значения с помощью DR или DRV.

Выходной контроль

GRIDFILE

По умолчанию ECLIPSE выводит файл .GRID содержащий геометрическое описание только активных ячеек. Для включения геометрии всех ячеек используйте

GRIDFILE

2 /

Файл .GRID содержит только геометрию пласта в закодированной форме. По умолчанию он двоичен.

NOGGF

Ключевое слово NOGGF запрещает вывод файла геометрии сетки.

INIT

Требует вывод файла .INIT, содержащего статические свойства резервуара. К ним относятся:

- Все значения определенные в разделе GRID на каждую ячейку, такие как пористость, три проницаемости, коэффициент песчанности, проводимости и коэффициенты проводимости.
- Функции насыщения (капиллярное давление и относительная проницаемость)
- Таблица PVT
- Области пласта, которые определены в REGION секции.
- Области течения
- Информация о NNC для построения в GRAF.

У INIT нет параметров. Файл .INIT по умолчанию не выводится. Этот файл кодированный и по умолчанию бинарный. Его используют такие пост-процессоры как GRAF.

Выходной контроль

RPTGRID

ECLIPSE может быть настроена для вывода печатных отчетов о характеристиках сетки в PRT файлы при помощи RPTGRID. Это ключевое слово зависит от определенного количества аргументов, в среднем около пятидесяти. В отличие от большинства других ключевых слов, аргументы должны быть в кавычках. К примеру

RPTGRID

```
'PORV' 'TRANX' 'PERMZ' 'ACTNUM' /
```

выдаст в PRT отчет об объеме пор ячеек, проводимостях в направлении X, проницаемости в направлении Z и номера активных ячеек.

BOUNDARY

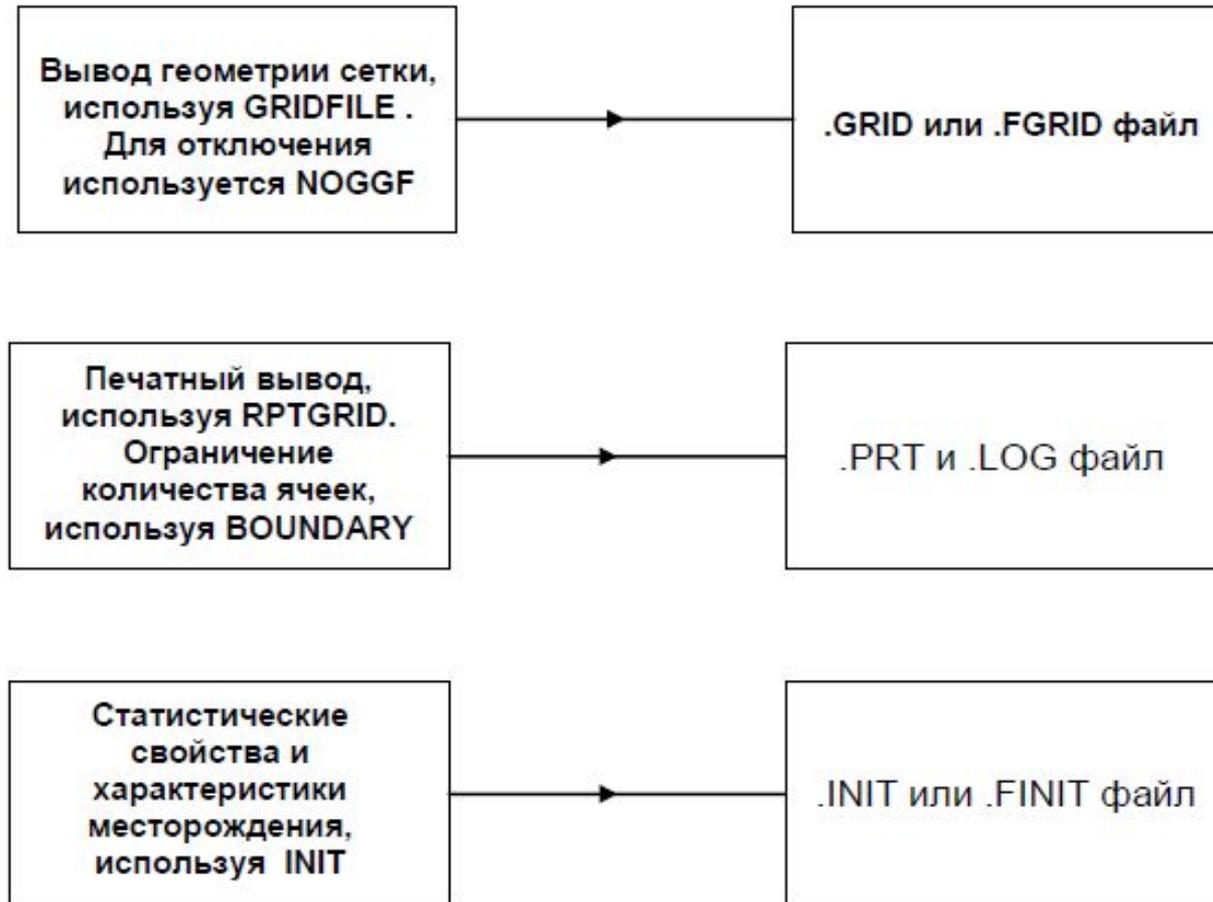
Распечатка всего раздела GRID может быть весьма объемной. Если пользователя интересует определенный участок сетки, BOUNDARY используется для ограничения вывода RPTGRID определенной областью ячеек. К примеру,

BOUNDARY

```
--I1 I2 J1 J2 K1 K2
```

```
1 10 1 5 1 10 / ограничивает вывод выбранной областью.
```

Выходной контроль



Ключевые слова секции Grid

Декартова геометрии
Радиальная геометрии
Свойства ячеек сетки для всех геометрий
Контроль выклинивания и отключения ячеек
Задание проводимостей
Распределение проводимостей и модификаторов
Разломы
Численные водоносные пласты
Операторы (умножение, копирование и т.п.)
Двойная пористость / проницаемость
Опция граничных потоков
Термальня опция
Опция вертикального уравнивания
Выходной контроль и другие

Ключевые слова секции Grid

Декартова геометрия	
DX, DY, DZ	Размеры блочно-центрированной ячейки
DXV, DYV	Размеры блочно-центрированной ячейки в векторной форме
TOPS	Расстояние от дневной поверхности до центров верхних ячеек блочно-центрированной ячейки
DZ	Толщина блочно-центрированной ячейки
COORD, ZCORN	Определение геометрии угловой точки
Радиальная геометрия	
INRAD, OUTRAD	Блочно-центрированные внутренние и внешние радиусы
DR, DTHETA	Блочно-центрированные параметры радиальных и тангенсальных ячеек
DRV, DTHETA V	Блочно-центрированные векторные параметры радиальных и тангенсальных ячеек
TOPS	Блочно-центрированные глубины центров верхних граней ячеек
DZ	Блочно-центрированная толщина ячейки
COORD, ZCORN	Установка геометрии угловой точки
COORDSYS	Завершение окружности (радиальная геометрия) в геометриях блочно-центрированной и угловой точки

Ключевые слова секции Grid

Свойства ячейки	
PORO	Пористость ячейки
NTG	Коэффициент песчанитости
DZNET	Чистая толщина
PERMX, PERMY, PERMZ	Проницаемость ячейки в декартовых координатах X, Y, Z
PERMR, PERMTHT, PERMZ	Радиальная проницаемость ячейки R, θ , Z
JFUNC	Активизация функции Леверетта для капиллярного давления, масштабированная по K и ϕ , соответственно
ACTNUM	установка активной ячейки
Pinchouts & Deactivation	
MINPV	Минимальный объем пор, необходимый для того, чтобы ячейка осталась активной
MINPVV	Минимальный объем пор, необходимый для того, чтобы ячейка осталась активной в текущей области
MULTPV	Множитель для объема пор
PINCH, PINCHOUT	Создание несоседнего соединения через выклинивающиеся слои
PINCHXY	Созданные горизонтально выклинивающиеся NNCs

Ключевые слова секции Grid

Проводимость	
NEWTRAN	Расчет проводимости для геометрии угловой точки
OLDTRAN	Расчет проводимости для блочно-центрированной геометрии
OLDTRANR	Расчет проводимости для ВЕТАП
изменение проводимости	
MULTX, MULTY, MULTZ	Коэффициенты проводимости вверх по потоку в декартовой геометрии
MULTX-, MULTY-, MULTZ-	Коэффициенты проводимости вниз по потоку в декартовой геометрии
MULTR, MULTTHT, MULTZ	Коэффициенты проводимости вверх по потоку в радиальной геометрии
MULTR-, MULTTHT-, MULTZ-	Коэффициенты проводимости вниз по потоку в радиальной геометрии
NNC	Изменение радиальной или декартовой проводимости NNC
Разломы	
FAULTS	Определение разлома
MULTFLT	Изменение проводимости через разлом
THPRESFT	Установка порогового давления разлома

Ключевые слова секции Grid

Диффузия	
DIFFMX, DIFFMY, DIFFMZ	Множители диффузии вверх по потоку в декартовой геометрии
DIFFMX-, DIFFMY-, DIFFMZ-	Множители диффузии вниз по потоку в декартовой геометрии
DIFFMR, DIFFMTH, DIFFMZ	Множители диффузии вверх по потоку в радиальной геометрии
DIFFMR-, DIFFMTH-, DIFFMZ-	Множители диффузии вниз по потоку в радиальной геометрии
DIFFMMF	Множители диффузии матрица-трещина
MULTFLT	Множители диффузии и проводимости через разлом
Численное задание подошвенных вод - aquifer	
AQUNUM	Определение численного aquifer
AQUCON	Подключение численного aquifer к пласту
Операторы	
ADD	Добавление определенного значения к массиву в текущем боксе
MULTIPLY	Умножение массива в текущем боксе на определенное значение
COPY	Копирование данных в текущем боксе между массивами
COPYBOX	Копирование массива одного бокса в другой
EQUALS	Установка постоянных значений в определенном боксе

Ключевые слова секции Grid

Двойная пористость/ проницаемость	
DPGRID	Копирует данные ячейки матрицы в ячейку трещины
NODPERM	Обрабатывает проницаемости трещин как эффективные проницаемости трещины
DZMTRX, DZMTRXV	Высота ячейки матрицы, векторная форма
LINKPERM	Задаёт равную проницаемость ячеек и их поверхностей (линеаризованная проницаемость)
DPNUM	Назначает ячейкам двойную пористость в противоположность назначаемой по умолчанию - единичной пористости ,
SIGMA, SIGMAV	Коэффициент перетоков между матрицей и трещиной, векторная форма
LX, LY, LZ	Вводит представительные размеры блока для вязких сдвигов
LTOSIGMA	Рассчитывает SIGMA от LX, LY, LZ.
SIGMAGD, SIGMAGDV	Коэффициент перетоков матрица-трещина для гравитационного режима, векторная форма

Ключевые слова секции Grid

Опция притока на границе	
FLUXNUM	Назначает ячейки с притоком на границе
MULTIREG	Умножает массив на постоянное значение в заданной области с притоком
EQUALREG	Устанавливает определенные массивы постоянными в заданной области с притоком
MULTIREGT	Умножает проводимости между областями с притоком
DUMPFLUX, USEFLUX	Считывает и записывает файлы с данными о притоке с диска, на диск
FLUXREG	Назначает активные области с притоком в USEFLUX
Области независимых пластов	
ISOLNUM	Определяет индивидуальные (независимые) области пластов
RESVNUM	Определяет геометрию индивидуальных областей
RPTISOL	Записывает данные о областях независимых пластов в .PRT и/или .LOG файлы.
Термальная опция	
THCONR	удельная теплопроводность породы

Ключевые слова секции Grid

Опция вертикального равновесия	
COLLAPSE	Определяет ячейки с нарушениями вертикального равновесия
CRITPERM	Устанавливает критическую проницаемость для определения тех ячеек где будет нарушаться вертикальное равновесие.
VEDEBUG	Отлаживает вывод для ячейкозависимой информации о проницаемости
Разное и вывод	
ADDZCORN	Добавляет константу к глубине углов ячейки
EQLZCORN	Восстанавливает глубину углов ячейки
BOUNDARY	Ограничивает вывод определенных областей в print и log файлы
BOX	Открывает бокс
ENDBOX	Закрывает бокс
GRIDFILE	Вывод файла с геометрией сетки
GDFILE	Ввод бинарного файла с сеткой
INIT	Вывод файла начальных данных для GRAF и PSEUDO.
IMPORT	Ввод бинарного файла с сеткой

Ключевые слова секции Grid

Разное и вывод	
MAPAXES	Ввод начальной карты для использования в пост-процессоре, путем вывода файла .GRID или .FGRID. Обычно не используется ECLIPSE.
MAXVALUE, MINVALUE	Устанавливает верхние и нижние пределы массива текущего бокса
NOGGF	Запрещает вывод файла геометрии сетки
PERMAVE	Усредняет проницаемость прилегающих ячеек
PSEUDOS	Требует специального вывода для псевдогенерации с использованием PSEUDO
RPTGRID	Назначает данные о сетке выводимые в print и log файлы
SOLVDIRS	
SPECGRID	Назначает характеристики сетки. Обычно не используется ECLIPSE.

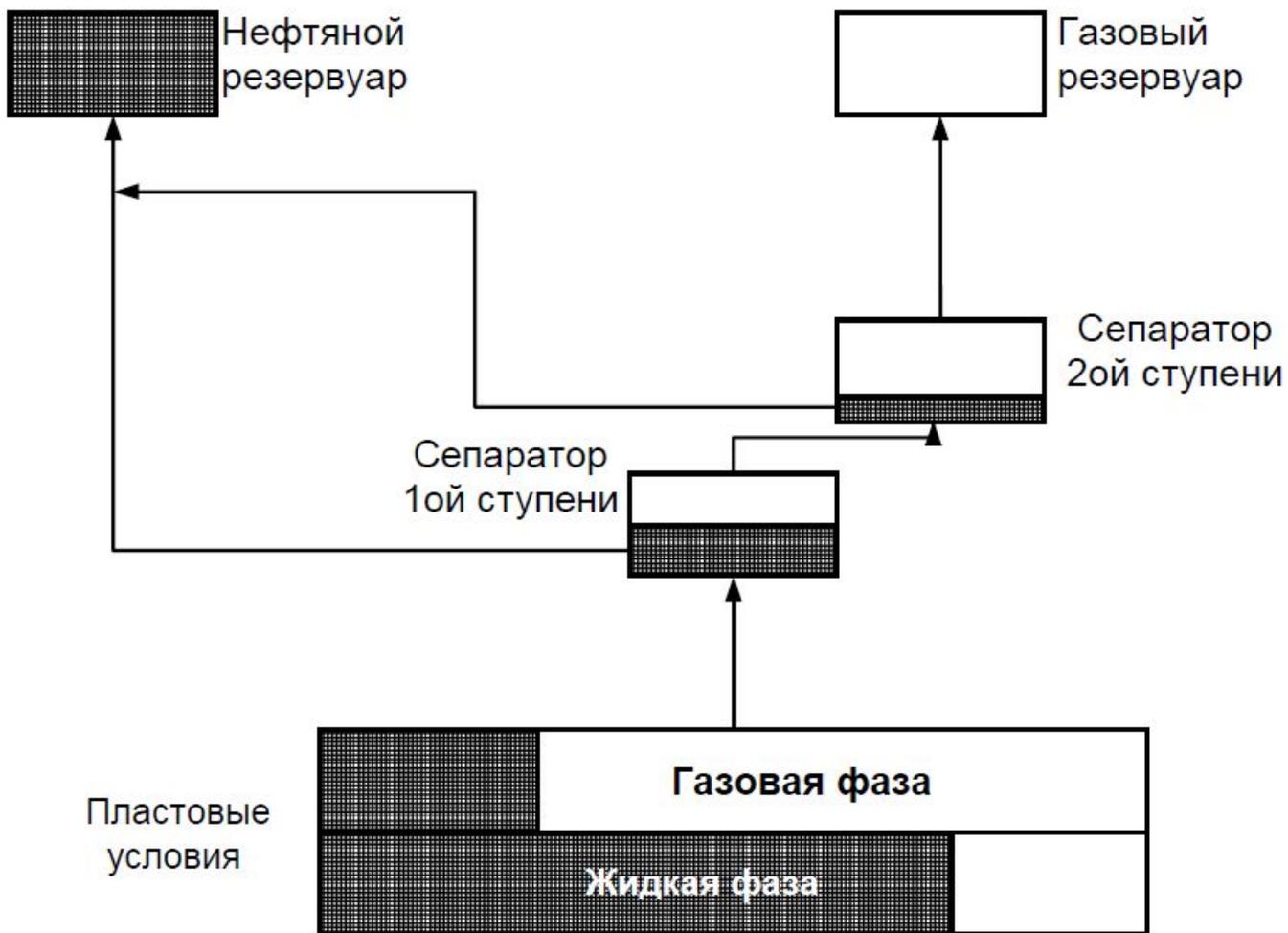
Гидродинамическое моделирование

Лекция 6 **СЕКЦИЯ PROPS**

Цель секции PROPS

- Этот раздел ограничивается заданием PVT свойств флюида и сжимаемости горных пород
- Для оценки PVT свойств всех флюидов в любой момент времени необходимо ввести следующие данные:
 - объемный коэффициент флюида в пласте,
 - вязкость,
 - соотношение нефть/газ (GOR) и/или соотношение газ/нефть (OGR)
- Необходимо задать условия перерасчета свойств флюидов из пластовых условий в поверхностные
- Также может быть явно задан начальный газовый фактор
- Если свойства внутри резервуара изменяются, то может быть указано более одной таблицы заданных свойств

Цель секции PROPS



Цель секции PROPS

ECLIPSE представляет расчет материального баланса на каждом этапе моделирования. Для этого необходимо рассчитать плотность каждой фазы. Т.к. плотность каждой фазы зависит от давления и количества дополнительных растворенных компонентов в каждой фазе, фазовые свойства PVT являются идеальным способом определения этих флюидных характеристик. В противном случае они выводятся из сочетания лабораторных экспериментов и полевых исследований. Этот тип данных требует определенных условий, т.е. поверхностной плотности каждого компонента.

ECLIPSE строит изотермические модели; температурные изменения не рассматриваются и совершенно очевидно, что все компоненты модели находятся при одной температуре.

Фазовое поведение углеводородной системы

Нефтяные и газовые флюиды в пласте представляют собой многокомпонентные смеси, которые под воздействием различных температур и давлений могут находиться в разных формах (фазах). Фазовое поведение – ключевой аспект для понимания природы и поведения углеводородных флюидов с точки зрения их состояния в пласте и изменений происходящих при добыче.

Термины:

Компоненты – чистые вещества из которых состоит система при любых условиях (метан, этан, пропан).

Фазы – отдельные, физически гомогенные, разделенные границами части (для воды: лед, пар, жидкая вода).

Интенсивные свойства (не аддитивные) – физические свойства, не зависящие от количества исследуемого материала (плотность, сжимаемость).

Экстенсивные свойства - физические свойства, зависящие от количества исследуемого материала (масса, объем).

Критическая точка – точка (такие значения давления и температуры), где все интенсивные свойства жидкости и газа одинаковы.

Крикодентерма – температура, выше которой жидкость не может сформироваться несмотря на изменения давления или максимальная температура, при которой две фазы могут существовать в равновесии.

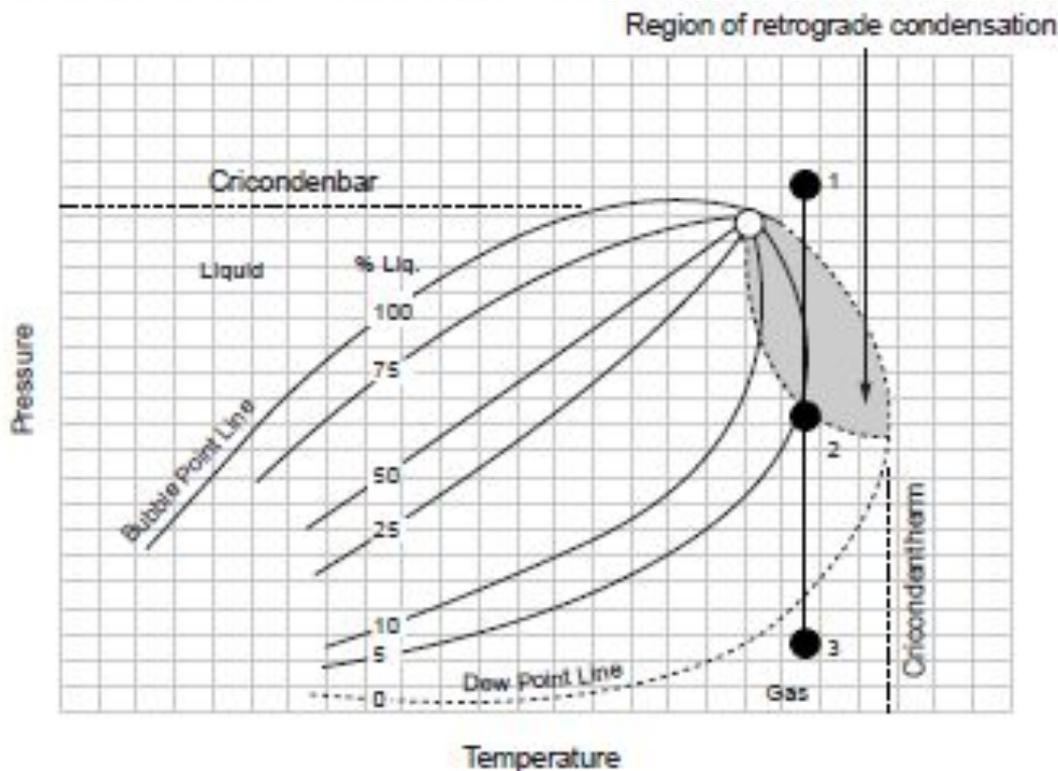
Крикоденбара – давление, выше которого газ не может сформироваться несмотря на изменения температуры или максимальное давление, при котором две фазы могут существовать в равновесии.

Фазовое поведение углеводородной системы

Если рассмотреть постепенное снижение давления (линия 1-2-3 на рисунке) при температуре между критической и крикодентермой. При снижении давления от точки 1 точка росы достигается и конденсируется жидкость, в результате в точке 2 система состоит из 5% жидкости и 95% газа, таким образом снижение давления приводит к появлению в системе жидкости .

Данный эффект называется **ретроградной конденсацией**.

При переходе от точки 2 к точке 3 количество жидкости в системе снижается и флюид вновь перес



Фазовое поведение углеводородной системы

Распространенные УВ флюиды:

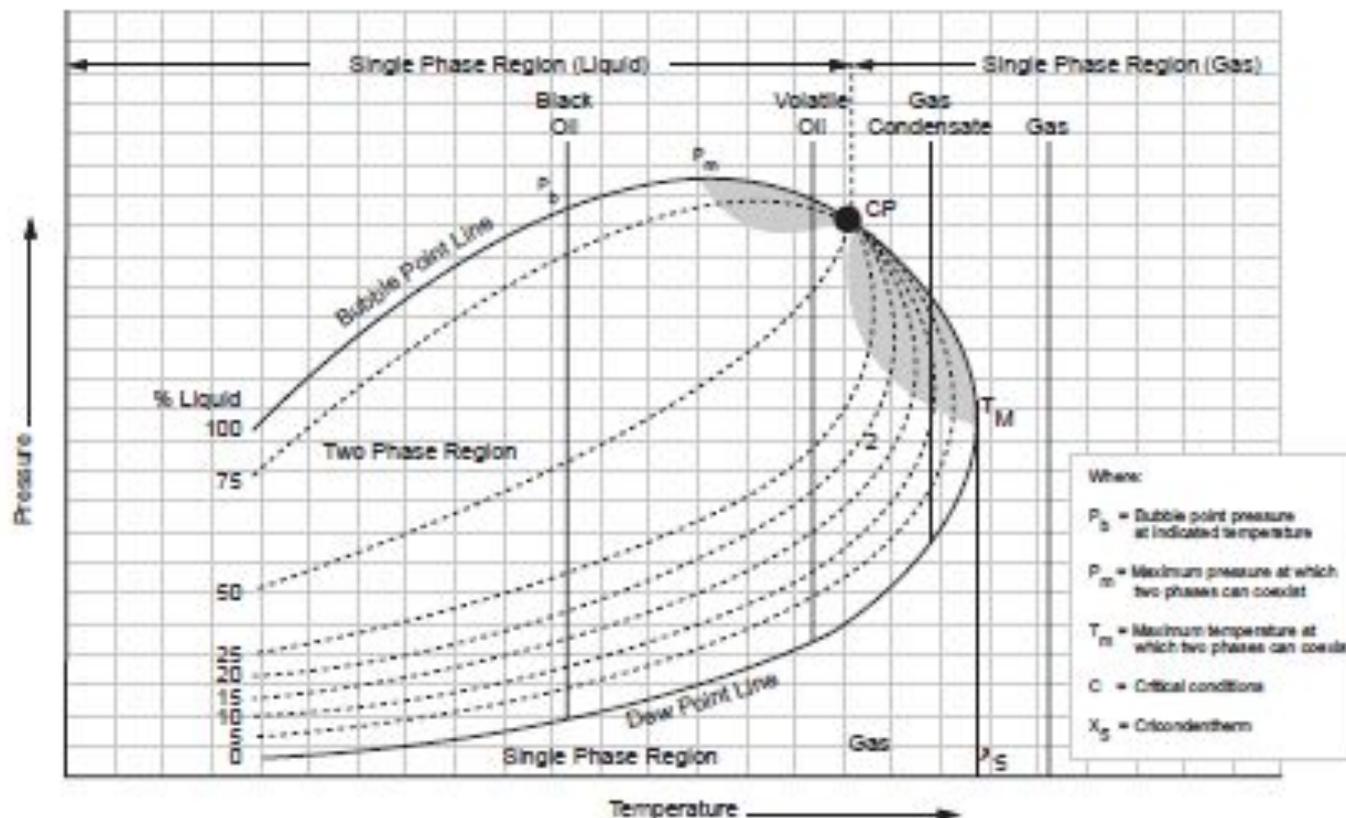
Low-shrinkage oil (heavy oil - black oil) – слабосжимаемая нефть

High-shrinkage oil (volatile oil) – высокосжимаемая нефть

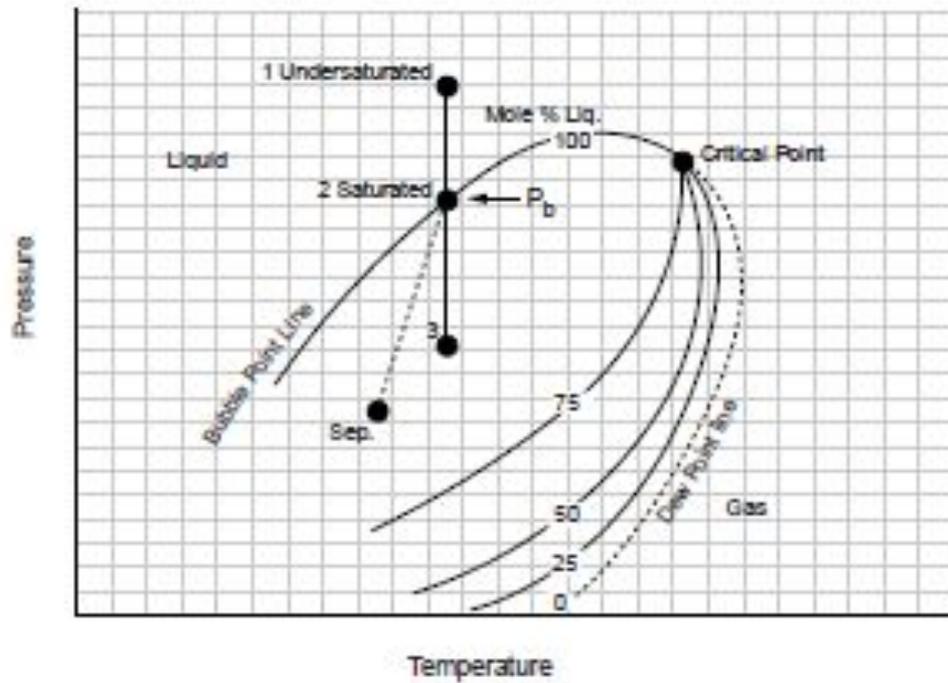
Retrograde condensate gas - газоконденсат

Wet gas – «жирный» газ

Dry Gas – «сухой» газ



Фазовое поведение углеводородной системы



Обзор Black oil

- По определению, в поверхностных условиях «мертвая» нефть не содержит растворенный газ.
- Моделирование темной нефти корректнее всего применять в однофазных областях, в удалении от критической точки (P_c , T_c).
- Попадание в двухфазную область приводит к изменению компонентов входящих в состав фазы
- При моделировании процессов в пласте при помощи модели темной нефти изменения компонентного состава фаз не происходит, потому что в рассматриваемой модели свойства флюида зависят только от давления

Обзор Black oil

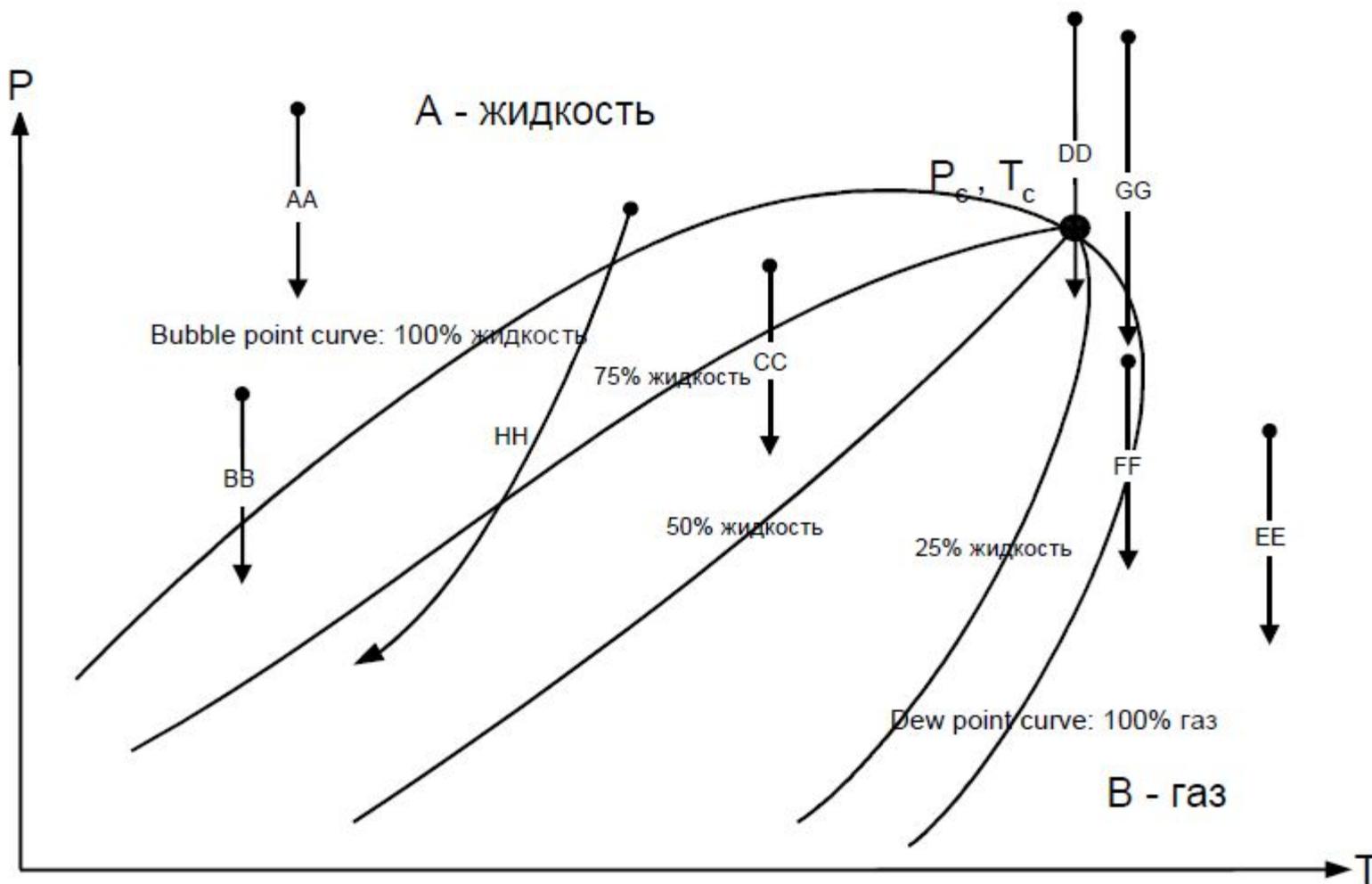
Линии AA-NN представляют собой траектории по которым фазовое состояние нефть и/или газ может меняться в процессе разработки залежи.

Линия AA представляет нефть выше точки насыщения газом. Давление в резервуаре изотермически снижается и вязкость и сжимаемость флюида могут изменяться, при этом флюид остается 100% жидкостью. Концентрация растворенного газа не изменяется. Свободный газ, однако, добывается, т.к. газ выделяется из раствора в стволе скважины. В терминологии ECLIPSE это определяется как «мертвая» нефть.

Линия BB представляет нефть первоначально выше точки насыщения газом. При

уменьшении давления вязкость и сжимаемость нефти могут изменяться, оставаясь выше точки насыщения газом. Газовый фактор (GOR) постоянен. Составляющие остаются без изменений, пока не достигнута точка насыщения газом, затем газ начинает выделяться из раствора. Если это происходит в резервуаре, может формироваться газовая шапка. Если это происходит на забое скважины – свободный газ поступает в ствол скважины. В любом случае, т.к. давление снижается изотермически вдоль линии BB траектория флюидов пересекает качественную линию внутри фазовой огибающей и из раствора выделяется больше газа. GOR добытой нефти сравнительно ниже, чем нефти в залежи. В терминологии ECLIPSE это определяется как «живая» нефть.

Обзор Black oil



Обзор Black oil

Линия CC представляет двухфазную смесь. Выше газонефтяного контакта (GOC) давление ниже точки насыщения газом и газ существует в свободной фазе (газовая шапка). Ниже контакта газ-нефть давление выше точки насыщения; нефтяная фаза содержит растворенную газовую составляющую. Т. к. давление снижается изотермически вдоль линии CC смесь пересекает качественную линию внутри фазовой огибающей и из раствора выделяется больше газа В терминологии ECLIPSE это определяется как «живая» нефть.

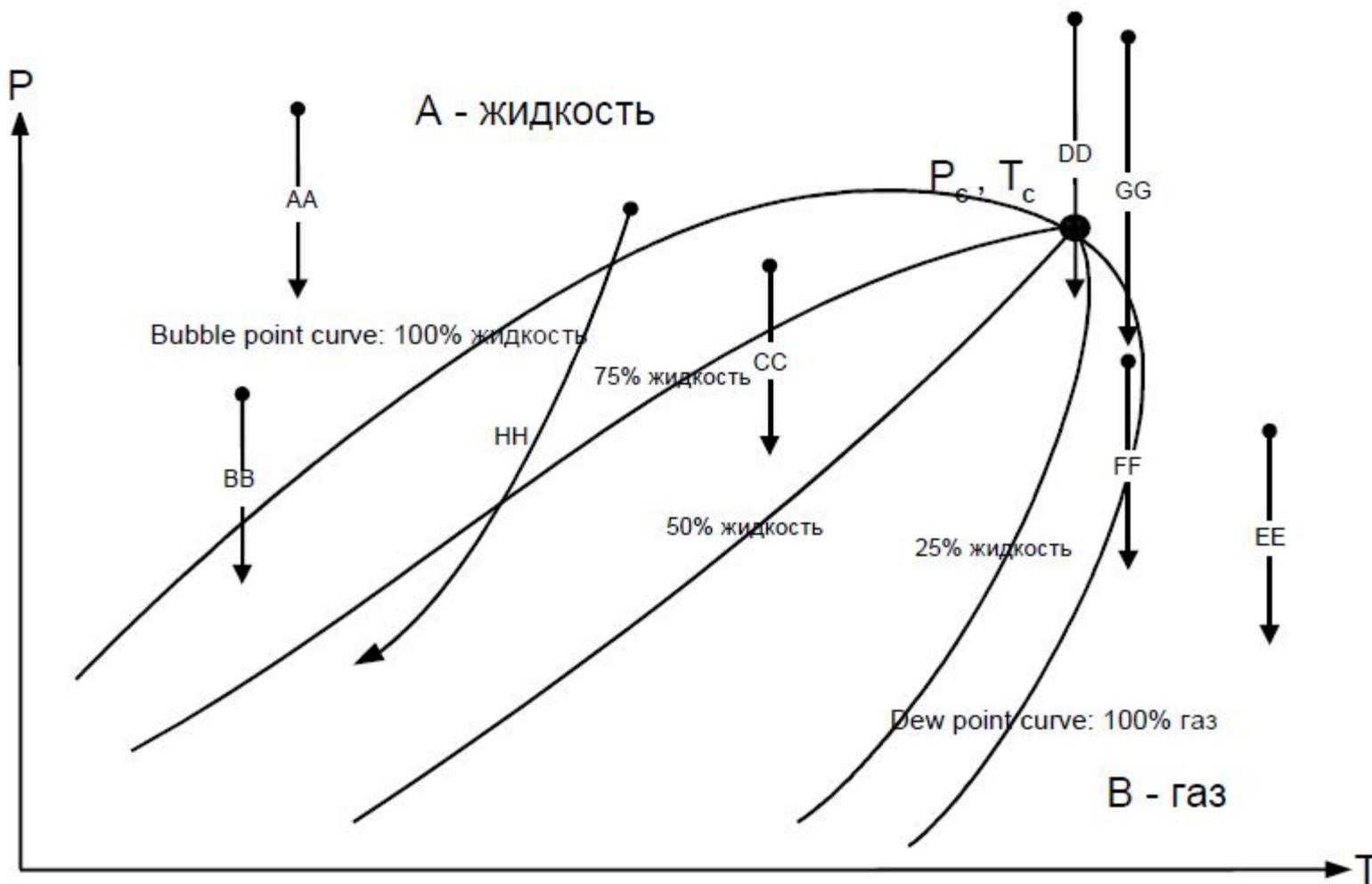
Линия DD представляет первоначально околокритический флюид. Флюид, проходя через критическую точку (P_c , T_c) вдоль линии DD, превращается в двухфазную смесь, но это не будет явно заметно. При соответствующем сочетании пластового давления и давления на забое скважины (BHP) в скважину поступает однофазный флюид, который переходит в двухфазное состояние внутри скважинного ствола.

Линия EE представляет первоначально однофазный газ. Этот газ содержит

испаренные нефтяные компоненты, но при снижении давления вдоль линии EE он не может достичь точки росы, так как находится вне фазовой огибающей газа

В терминологии ECLIPSE это определяется как сухой газ.

Обзор Black oil



Обзор Black oil

Линия FF это также двухфазная смесь, первоначально внутри фазовой огибающей. При снижении давления вдоль линии FF жидкая фаза постепенно испаряется, до пересечения точки росы, когда жидкости не остается. В терминологии ECLIPSE этот флюид определяется как жирный газ.

Линия GG представляет летучую нефть, первоначально выше точки росы. При повышении давления летучая фаза конденсируется. В терминологии ECLIPSE это также определяется как жирный газ.

Линия HH представляет нефть, которая изменяется при адиабатическом переходе от однофазной нефти до двухфазной газонефтяной смеси. Это может произойти в сепараторе.

Считается, что пластовые флюиды находятся в пласте, сепараторе и в поверхностных условиях при фиксированных температурах, хотя эти температуры могут быть различными. К примеру, температура при нормальных условиях обычно отличается от пластовой температуры. В таких случаях, данные PVT нефти могут быть представлены в таблицах свойств как функция давления, при определенной температуре.

Обзор Black oil

Однофазные системы, рассматривающие только газ, также хорошо приспособлены для моделирования с использованием **ECLIPSE**. **Как и в случае с черной нефтью, флюид находится далеко от критической точки** и не пересекает линию точки росы таким образом концентрация летучей нефти (если она имеется) остается постоянной В терминологии **ECLIPSE это определяется как сухой газ**.

Программы моделирования темной нефти, такие как **ECLIPSE не могут точно** смоделировать переход компонентов из одной фазы в другую. Если необходимо смоделировать такой процесс, как высвобождение газа или выпадение конденсата, это должно происходить не напрямую, а путем изменения раствора GOR (R_s) и пара OGR (R_v). Флюиды, обладающими такими свойствами относятся к «живой» нефти и жирному газу, соответственно.

Подобные процессы корректней моделировать при помощи Eclipse 300.

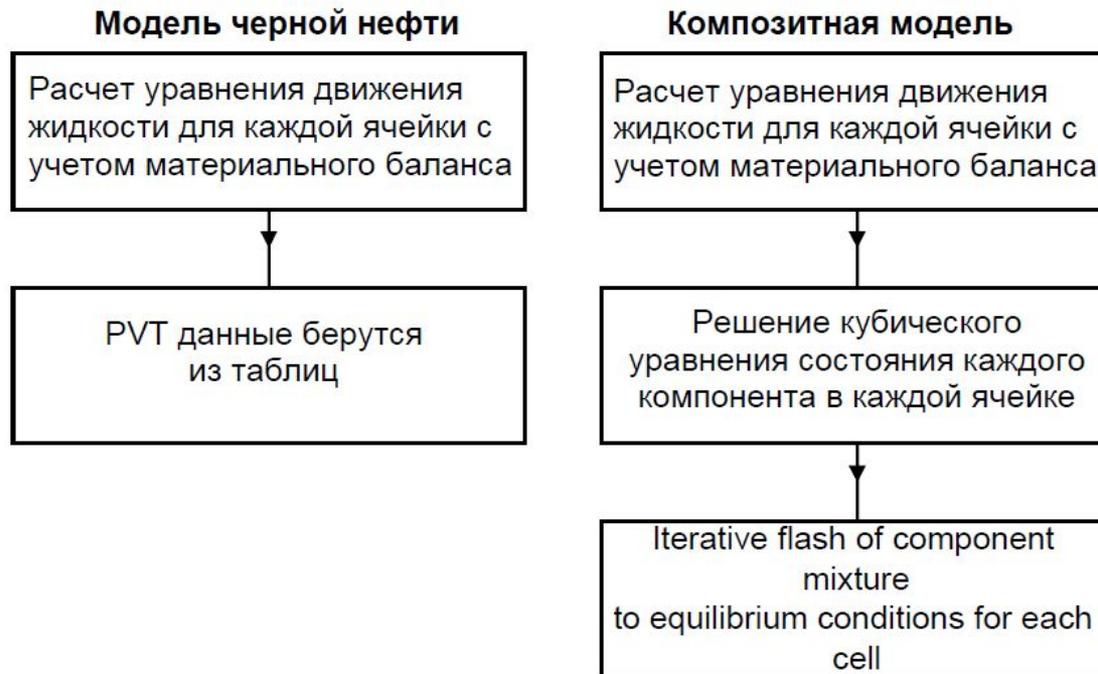
Обзор Black oil

Для того чтобы флюиды с использованием модели черной нефти могли быть смоделированы достаточно точно должны выполняться следующие условия:

- Количество выпавшего конденсата или высвободившегося газа должно составлять небольшую часть от общего количества углеводородов
- Оставшиеся углеводородные соединения не должны сильно меняться при высвобождении газа или выпадении конденсата
- Траектория флюидов должна быть удалена от критической точки
- Процесс должен быть изотермическим

Модель черной нефти по сравнению с КОМПОЗИЦИОННОЙ

- Большую часть времени расчета программы, моделирующие черную нефть затрачивают на расчет уравнений потоков. PVT рассчитывается по таблицам
- Программы композиционного моделирования имеют дополнительную нагрузку из-за повторяющихся решений уравнения состояния и быстрых подсчетов.
- Программы композиционного моделирования почти всегда требуют больше



Модель черной нефти по сравнению с КОМПОЗИЦИОННОЙ

Моделирование темной нефти возможно в случаях, когда композиционные изменения незначительны и флюид удален от критической точки. В этом случае свойства флюида относительно стабильны и могут быть представлены в виде ряда таблиц свойств PVT как функции давления. Временные затраты при расчете PVT свойств с использованием таблиц очень малы. Основная часть машинного времени при моделировании черной нефти тратится на решение связанной системы уравнений потока для каждой ячейки, плюс ввод скважин и добыча флюидов.

Композиционное моделирование применяется в случаях, когда модель черной нефти работает не корректно. Программы композиционного моделирования, такие как **ECLIPSE 300 представляют такие же расчеты потока флюидов, что и** программы моделирующие темную нефть, но требуют больше компьютерных ресурсов.

Пластовый флюид описывается в терминах псевдокомпонентов. Каждый псевдокомпонент представляет группу отдельных углеводородных (и не только) соединений. После расчета потоков флюидов каждый псевдокомпонент должен быть приведен в равновесное состояние. Это процесс пошагового приближения. Затем, для каждого компонента решается кубическое уравнение состояния (EoS). Это также процесс пошагового приближения. Как и расчет равновесия, так и решение EoS выполняется для каждого момента времени во всех ячейках сетки.

На практике расчет потоков занимает меньше 50% машинного времени композиционного моделирования; расчет равновесия и решение EoS занимает остальное время.

Уравнение состояния нефти

- Все значения в таблицах зависят только от давления.
- (s) относится к поверхностным условиям, (r) – к пластовым.
- В нефтяной фазе содержится растворенная газовая составляющая $V_g(r)$
- Уравнение не решается, оно заносится в таблицы, которые интерполируются и экстраполируются

$$\rho_o^{(r)} = \frac{\rho_o^{(s)} + R_s \rho_g^{(s)}}{B_o}$$

где

$$B_o = \frac{V_o^{(r)} + V_g^{(r)}}{V_o^{(s)}}$$

и

$$R_s = \frac{V_g^{(s)}}{V_o^{(s)}}$$

Уравнение состояния для модели «черной» нефти

Уравнение состояния нефти

Уравнение состояния черной нефти (EoS) рассматривает нефть как однофазный флюид, чьи свойства зависят только от давления. В терминах PVT черная нефть удалена от критической точки. Состав черной нефти представляется неизменным; другие свойства, такие как плотность и вязкость могут быть описаны достаточно легко, так как их поведение вдали от критической точки несложно. Черная нефть берется при фиксированной температуре, температуры пласта, скважины и поверхности также постоянны. В таких случаях нефтяные PVT данные могут быть представлены в таблицах свойств как функции только давления. На практике модель черной нефти часто применяется ниже точки насыщения. «живая» нефть в терминологии ECLIPSE это нефть, которая может опускаться ниже точки насыщения, тогда как «мертвая» нефть не может этого делать. Если резервуар содержит газовую шапку, точка насыщения находится на газонефтяном контакте. Давление выше GOC, в газовой фазе, должно быть ниже точки насыщения. И «живая», и «мертвая» нефть содержат газовые составляющие, растворенные в нефтяной фазе. Это различие между фазами и компонентами является центральным в понимании модели черной нефти. Назначение элемента R_s в уравнении состояния черной нефти состоит в описании влияния составляющих растворенного газа на свойства нефтяной фазы. Для «мертвой» нефти он фиксирован; для «живой» нефти R_s может изменяться.

ВНИМАНИЕ «мертвая» нефть содержит газ. Он не выделяется из раствора в пластах, но растворенная газовая составляющая может быть высвобождена в любом месте, где давление ниже давления точки насыщения, например в стволе скважины или на поверхности.

Уравнение состояния нефти

Если пласт содержит только «мертвую» нефть с одним GOR и точкой насыщения, единичное значение R_s может быть определено в точке насыщения с использованием RSCONST. Если, с другой стороны, некоторое количество «мертвой» нефти полностью отделено (например блоковыми разломами или стратиграфическими ловушками), нефть с различными GOR и точкой насыщения может быть определена в различных частях пласта, используя ключевое слово PVTNUM вместе с некоторым количеством PVT таблиц для каждой нефти. Ключевое слово RSCONSTT должно быть использовано для определения точки насыщения GOR в каждой области PVT. Модель черной нефти может быть использована для моделирования «живой» нефти при некоторых условиях, встречающихся до определенного уровня, т.е. PVT модель удовлетворяет следующим условиям:

- Нефтяная составляющая не изменяется, когда газ покидает раствор. В идеале, это значит, что распределение углеводородных молекул по весу одинаково для нефти и газа. Поскольку это невозможно, следует довольствоваться тем, что при испарении газа из раствора, свойства нефти изменяются слабо.
- Количество газа, испаряющегося из раствора, составляет небольшую долю от общего объема углеводородов. Так как выделяющийся газ изменяет состав остающейся нефти, это следует из предыдущего условия.
- Выделение газа не подводит смесь слишком близко к критической точке.

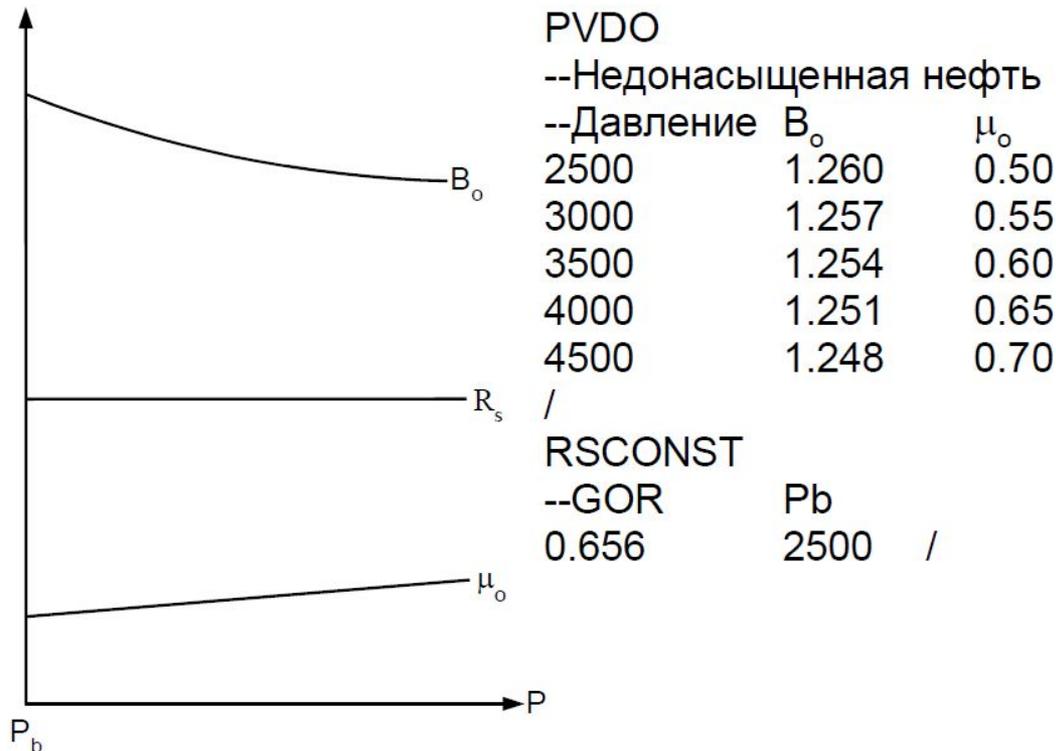
В моделях «живой» нефти начальный R_s определяется как GOC для начальной модели и как функция глубины, с использованием RSVD или PBVD.

Моделирование газа с использованием модели темной нефти происходит аналогично.

Сухой газ соответствует «мертвой» нефти в терминологии ECLIPSE. Сухой газ может содержать компоненты нефтяных паров, описываемых соотношением нефть-газ R_v .

Ввод данных PVT для 'мертвой' нефти с помощью PVDO

- Ключевое слово PVDO используется для определения свойств нефти выше точки насыщения (недонасыщенная нефть)
- Это таблицы зависимости коэффициента пластового объема и вязкости от давления
- Сводные таблицы PVDO могут повторять единичное PVDO если в пласте заведомо находится «мертвая» нефть
- Таблицы PVDO привязываются к определенным ячейкам или группам ячеек.
- Моделирование прерывается, если давление в любой ячейке сети опускается ниже точки насыщения.



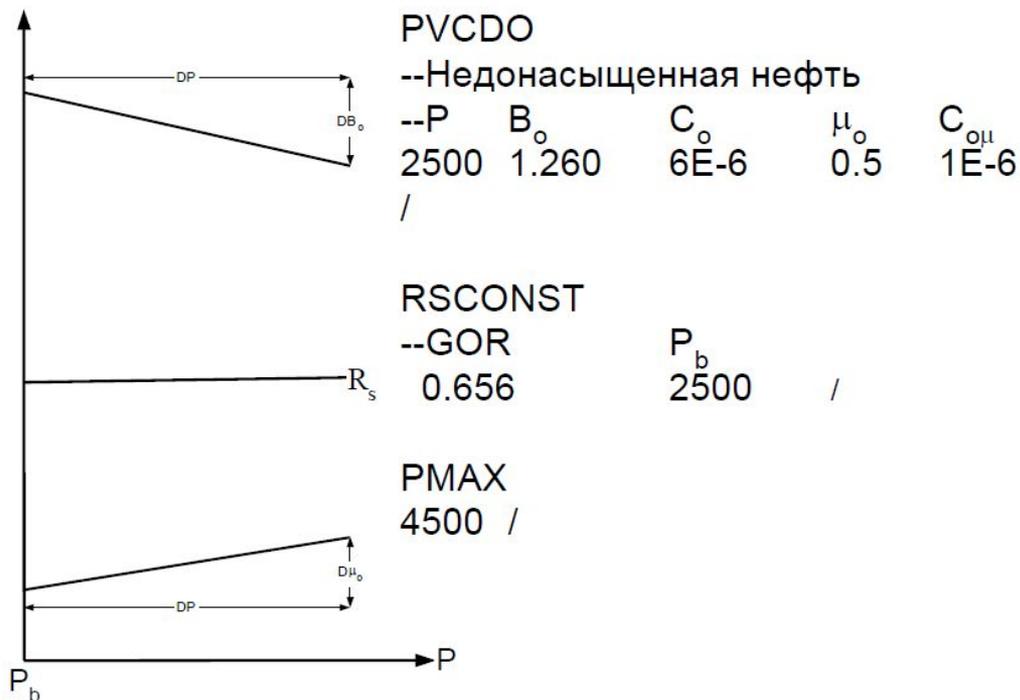
Ввод данных PVT для 'мертвой' нефти с помощью PVDO

Формат ключевого слова включает параметры давления, коэффициента пластового объема нефти и вязкости, располагаемые слева направо. По умолчанию введенные таблицы интерполируются **ECLIPSE**, хотя давление не может быть задано по умолчанию. Таблица заканчивается одиночным прямым слэшем.

Значение давления монотонно увеличиваться вниз по таблице. Коэффициент пластового объема должен монотонно убывать, с увеличением давления. **ECLIPSE** не выдает предупреждения или сообщения об ошибке, если это не указано особо. Т.к. пластовое давление не может опускаться ниже точки насыщения, не имеет смысла включать данные ниже P_b и минимальным давлением в таблице должно быть давление в точке насыщения. Если давление в какой-нибудь ячейке достигает точки насыщения, моделирование прерывается. Нефтяная фаза содержит фиксированное количество растворенной газовой составляющей. Это определяется с использованием **RSCONST**. Если представлено более одной нефти, **RSCONSTT** используется для задания точек насыщения **GOR** для каждой нефти. Обратите внимание, что единицы измерения **FIELD** в **RSCONST** и **RSCONSTT** $Mscf/stb$, где M обозначает 1000.

Ввод данных PVT для 'мертвой' нефти с помощью PVCDO

- Ключевое слово PVCDO используется для определения свойств нефти выше точки насыщения (недонасыщенная нефть)
- Вместо определения зависимости V_o и μ_o от давления, эффективнее определять V_o и μ_o и наклон прямой в точке насыщения
- Максимальное давление определяется с использованием PMAX
- Несколько таблиц PVCDO могут быть указаны после ключевого слова PVCDO если в пласте находится несколько «мертвых» нефтей
- Таблицы PVCDO привязываются к определенным ячейкам или группам ячеек
- Моделирование прерывается, если давление в какой-либо ячейке сетки опускается ниже точки насыщения



Ввод данных PVT для 'мертвой' нефти с помощью PVCDO

Формат ключевого слова включает параметры давления, коэффициента пластового объема нефти, вязкости и сжимаемости вязкости, располагаемые слева направо. Таблица заканчивается одиночным прямым слэшем.

Сжимаемость определяется как:

$$C_o = -\frac{1}{V_o} \left(\frac{dV_o}{dP} \right) \quad \text{или} \quad C_o = -\frac{1}{B_o} \left(\frac{dB_o}{dP} \right) \quad \text{Где сжимаемость вязкости это} \quad C_{o\mu} = \frac{1}{\mu_o} \left(\frac{d\mu_o}{dP} \right)$$

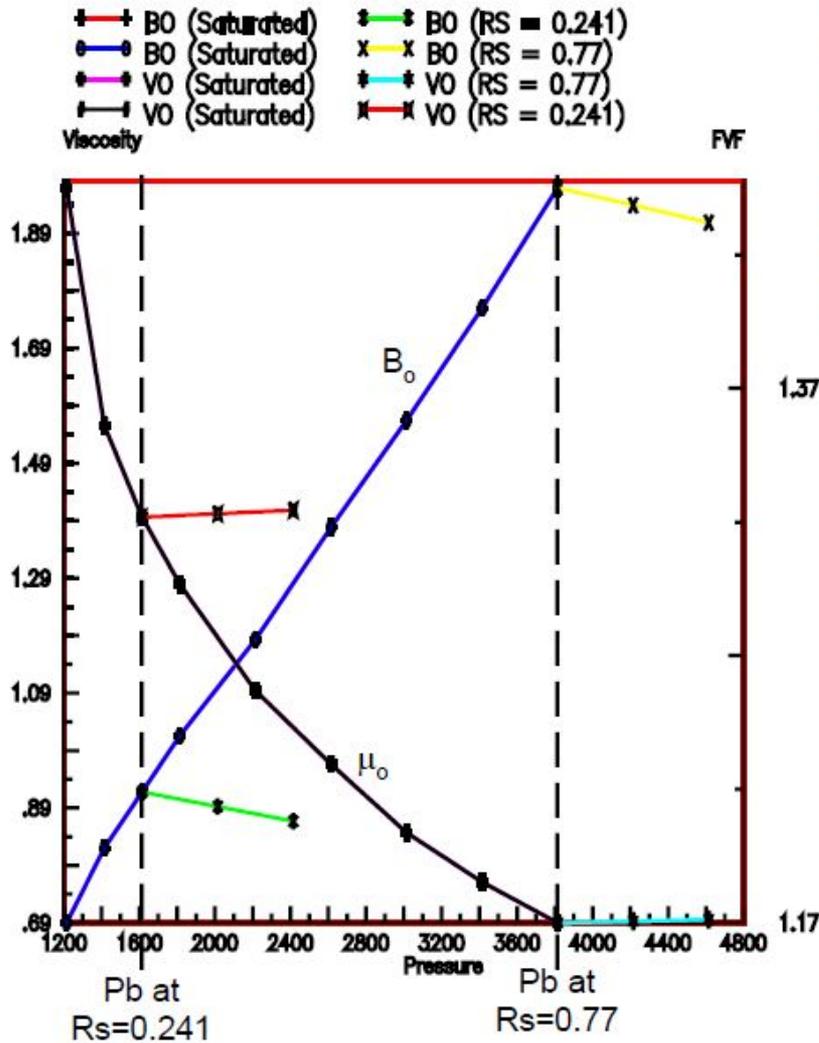
Вместо определения кривых V_o и μ_o в зависимости от давления, определяются их значения и наклон в точке насыщения. Эта альтернатива PVDO применима, если недонасыщенные кривые являются прямыми линиями. В принципе, **ECLIPSE** может экстраполировать любое давление выше точки насыщения. Для предотвращения этого должно быть введено ключевое слово PMAH. Если давление в какой-нибудь ячейке достигает точки насыщения, моделирование прерывается.

Нефтяная фаза содержит фиксированное количество растворенной газовой составляющей. Это определяется с использованием RSCONST. Если представлено более одной нефти, RSCONSTT используется для задания точек насыщения GOR для каждой нефти. Обратите внимание, что единицы измерения FIELD в RSCONST и RSCONSTT Mscf/stb, где M обозначает 1000.

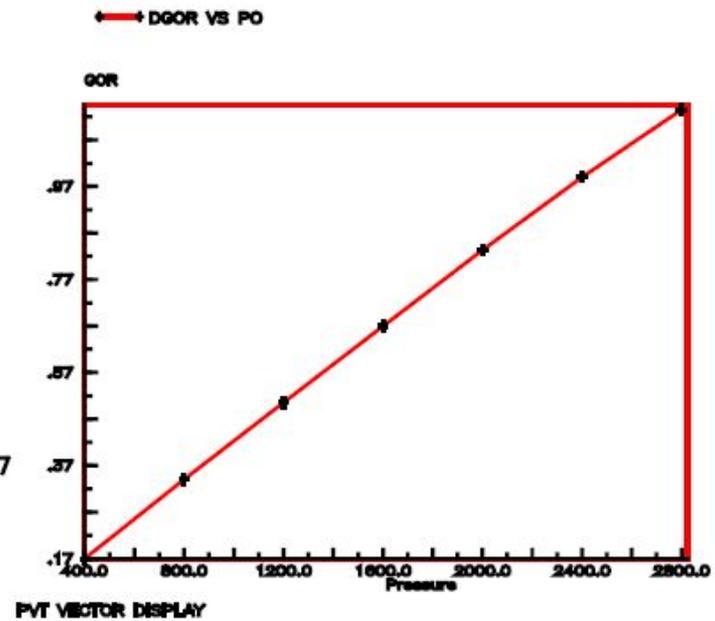
Ввод данных PVT для 'живой' нефти с помощью PVTO

- Ключевое слово PVTO используется для определения свойств нефти выше (недонасыщенная нефть) и ниже (насыщенная нефть) точки насыщения
- Это таблицы зависимости давления, объемного коэффициента и вязкости от точки насыщения отношения газ/нефть
- Объемный коэффициент и вязкость для недонасыщенной нефти должны быть определены для максимального давления
- Несколько таблиц PVTO могут быть после ключевого слова PVTO если в пласте находится несколько нефтей.
- Таблицы PVTO привязываются к определенным ячейкам или группам ячеек

Ввод данных PVT для 'живой' нефти с помощью PVTO



PVTO		B_o	μ_o
$-R_s$	P_b		
0.13700	1214.70	1.17200	1.97000 /
0.19500	1414.70	1.20000	1.55600 /
0.24100	1614.70	1.22100	1.39700 /
0.28800	1814.70	1.24200	1.28000 /
0.37500	2214.70	1.27800	1.09500 /
0.46500	2614.70	1.32000	0.96700 /
0.55800	3014.70	1.36000	0.84800 /
0.66100	3414.70	1.40200	0.76200 /
0.77000	3814.70	1.44700	0.69100
	4214.70	1.44050	0.69400
	4614.70	1.43400	0.69700 /



Ввод данных PVT для 'живой' нефти с помощью PVTO

Формат ключевого слова для насыщенных областей включает параметры GOR при насыщенном давлении, давление насыщения, объемный коэффициент и вязкость, в порядке слева направо. Для недонасыщенных областей значения R_s опускаются, пока GOR фиксируется выше давления насыщения. По умолчанию, введенные данные интерполируются ECLIPSE, **хотя значения R_s не могут быть** заданы по определению. Таблица заканчивается одиночным прямым слэшем. Пластовое давление может падать ниже точки насыщения и данные давления не обязательно будут выше наибольшего давления точки насыщения. Предположим давление в водо-нефтегазовом пласте на GOC составляет 3814.7, наибольшее давление точки насыщения в таблицах PVTO будет занимать предыдущую строку.

Требуется знать данные PVT нефти, при максимальном давлении подошвенной воды, т.к. **ECLIPSE рассчитывает R_s в каждой ячейке**. Все это также относится и к газовой шапке.

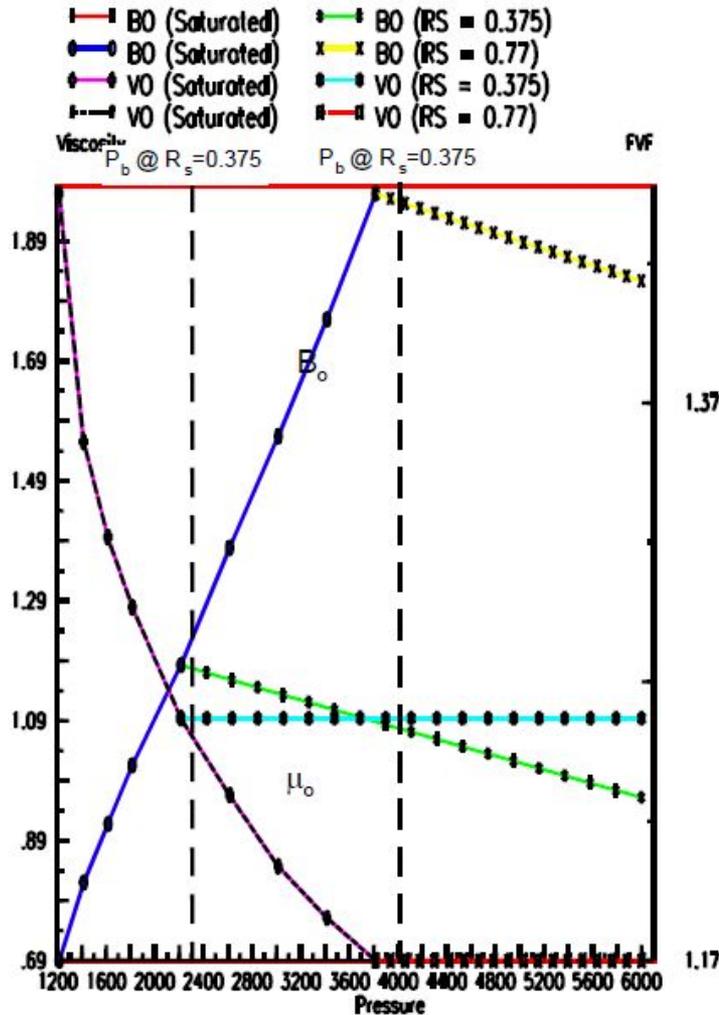
Ввод данных PVT для 'живой' нефти с помощью PVTO

При падении давления на GOC оно падает ниже давления насыщения и газ высвобождается. R_s нефти снижается по линии насыщения. Если в пласте поддерживается постоянное давление, в ячейке, скажем, 2614.7 содержащей свободный газ, будет происходить ре-поглощение высвободившегося газа, вдоль по кривым насыщения R_s от P_b . Если к тому моменту газ мигрирует выше и для репоглощения ничего не останется, **ECLIPSE интерполирует кривую** недонасыщения R_s при 0.465 между другими кривыми недонасыщения при $R_s=0.241$ и 0.77.

Ввод данных PVT для 'живой' нефти с помощью PVCO

- Ключевое PVCO используется для определения свойств нефти выше (недонасыщенная) и ниже (насыщенная) точки насыщения
- Вместо определения зависимости W_o и μ_o от давления, определяется W_o и μ_o и наклон прямой в точке насыщения
- Несколько таблиц PVCO могут быть после ключевого слова PVCO если в пласте находится несколько нефтей.
- Таблицы PVCO привязываются к определенным ячейкам или группам ячеек.

Ввод данных PVT для 'живой' нефти с помощью PVCO

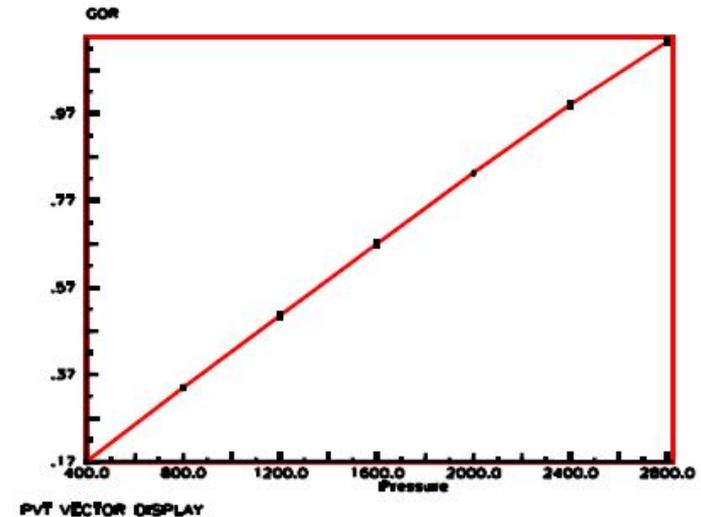


PMAX
6000 /

PVCO

--Pb	Rs	Bo	Vo	Co	Co _μ
1214.70	0.13700	1.17200	1.97000	1E-5	0
1414.70	0.19500	1.20000	1.55600	1*	0
1614.70	0.24100	1.22100	1.39700	1*	0
1814.70	0.28800	1.24200	1.28000	1*	0
2214.70	0.37500	1.27800	1.09500	1*	0
2614.70	0.46500	1.32000	0.96700	1*	0
3014.70	0.55800	1.36000	0.84800	1*	0
3414.70	0.66100	1.40200	0.76200	1*	0
3814.70	0.77000	1.44700	0.69100	1*	0

OGOR VS PO



Ввод данных PVT для 'живой' нефти с помощью PVCO

Формат ключевого слова для насыщенных областей включает параметры GOR при насыщенном давлении, насыщенное давление, коэффициент пластового объема, вязкость и сжимаемость вязкости, в порядке слева направо. Это эквивалент PVCO для «живой» нефти. Данные в точках определяют свойства для набора давлений насыщения а различные значения используются для экстраполяции на недонасыщенные области. Таблица заканчивается одиночным прямым слэшем.

Уравнение состояния газа

- Все значения зависят только от давления
- (s) относится к поверхностным условиям, (r) – к пластовым
- В газовой фазе содержится испаренная нефтяная составляющая $V_g(r)$
- Уравнение не решается, оно заносится в таблицы, которые интерполируются и экстраполируются
- Для сухого газа R_v фиксировано, а давление всегда выше точки росы
- Для жирного газа R_v п

$$\rho_g^{(r)} = \frac{\rho_g^{(s)} + R_v \rho_o^{(s)}}{B_g}$$

или

$$B_g = \frac{V_g^{(r)} + V_o^{(r)}}{V_g^{(s)}}$$

и

$$R_v = \frac{V_o^{(s)}}{V_g^{(s)}}$$

Уравнение состояния газа для модели «черной»

Уравнение состояния газа

Уравнение состояния черной нефти (EoS) для газа рассматривает газ как одну фазу, чьи свойства зависят только от давления. В терминах PVT черная нефть удалена от критической точки. Состав газа представляется неизменным; другие свойства, такие как плотность и вязкость могут быть описаны достаточно легко, так как их поведение вдали от критической точки несложно. Газ берется при фиксированной температуре, температуры пласта, скважины и поверхности также постоянны. В таких случаях газовые PVT данные могут быть представлены в таблицах свойств как функции только давления.

На практике модель черной нефти для газа часто применяется в двухфазных областях. Жирный газ в терминологии **ECLIPSE это газ, который может** пересекать кривую точки росы. Если резервуар содержит газовую шапку, точка росы находится на газонефтяном контакте. Давление выше GOC, в газовой фазе, должно быть ниже точки росы или выше, если точка росы ниже GOC. И сухой и жирный газ содержат испаренную нефтяную составляющую в газовой фазе. Это различие между фазами и компонентами является центральным в понимании модели черной нефти.

Назначение элемента R_s в уравнении состояния газа состоит в описании влияния составляющих испаренной нефти на свойства газовой фазы. Для сухого газа он фиксирован; для жирного газа R_v может изменяться.

Сухой газ может содержать нефть. Она не конденсируется в пласте или в стволе скважины, но испаренные компоненты конденсата высвобождаются в поверхностных условиях.

Уравнение состояния газа

Если пласт содержит только сухой газ с одним OGR и точкой росы, единичное значение R_v может быть определено в точке росы с использованием RVCONST.

Если, с другой стороны, некоторое количество сухого газа полностью отделено (например блоковыми разломами или стратиграфическими ловушками), газы с различными OGR и точками росы могут быть определены в различных частях пласта, используя ключевое слово PVTNUM вместе с некоторым количеством PVT таблиц для каждого газа. Ключевое слово RSCONSTT должно быть

использовано для определения точки росы OGR в каждой области PVT.

Модель черной нефти может быть использована для моделирования жирного газа при некоторых условиях:

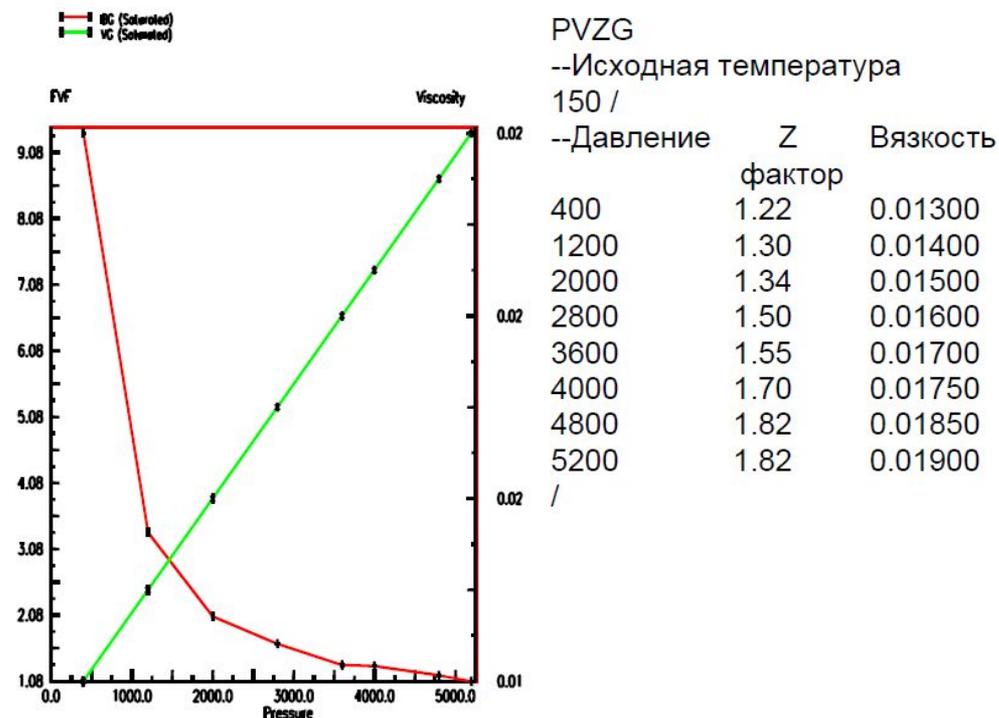
- Состав газа не изменяется, когда нефть конденсируется из фазы
- Распределение углеводородных молекул по весу одинаково для нефти и газа
- Поскольку это невозможно, следует довольствоваться тем, что при конденсации нефти свойства газа изменяются слабо
- Количество нефти, выпадающей из газовой фазы, составляет небольшую долю от общего объема углеводородов. Т.к. конденсирующаяся нефть изменяет состав остающегося газа, это следует из предыдущего условия.
- Конденсация нефти не подводит смесь слишком близко к критической точке.

Уравнение состояния газа

Изменения составляющих не могут быть смоделированы напрямую, с использованием **ECLIPSE** или **любой другой модели темной нефти**. **Вместо этого**, отношение R_s для газонефтяного пара используется для имитации эффекта изменения составляющих, когда нефть попадает или покидает газовую фазу. Для этого, R_s должен изменяться и в моделях жирного газа R_s заносится в таблицы как функция давления. В моделях жирного газа начальный R_s определяется на GOC при инициализации модели и как функция глубины с использованием ключевых слов RSVD или PBVD.

Ввод PVT свойств сухого газа с помощью PVZG

- Ключевое слово PVZG используется для определения свойств газа ниже точки росы или далеко от критической точки.
- Первая запись – это единичный пункт, определяющий относительную температуру для остальных данных.
- Следующие записи содержат данные о давлении, z-факторе и вязкости в приведенной последовательности.
- Несколько таблиц PVZG могут быть после ключевого слова PVZG если в пласте находится несколько газов.
- Таблицы PVZG привязываются к определенным ячейкам или группам ячеек.
- Моделирование прерывается, если давление в любой ячейке сети достигает точки росы.



Ввод PVT свойств сухого газа с помощью PVZG

Формат ключевого слова включает относительное давление в первой записи с последующими параметрами давления, газового z-фактора и вязкости, располагаемыми слева направо. По умолчанию введенные таблицы интерполируются ECLIPSE, **хотя давление не может быть задано по умолчанию.**

Таблица заканчивается одиночным прямым слэшем.

Значение давления монотонно увеличиваться вниз по таблице. Z-фактор должен монотонно увеличиваться, с увеличением давления. **ECLIPSE не выдает** предупреждения или сообщения об ошибке, если это не указано особо. Т.к. пластовое давление не может опускаться ниже точки росы, не имеет смысла включать данные ниже P_d и минимальным давлением в таблице должно быть давление в точке росы. Если давление в какой-нибудь ячейке достигает точки росы, моделирование прерывается.

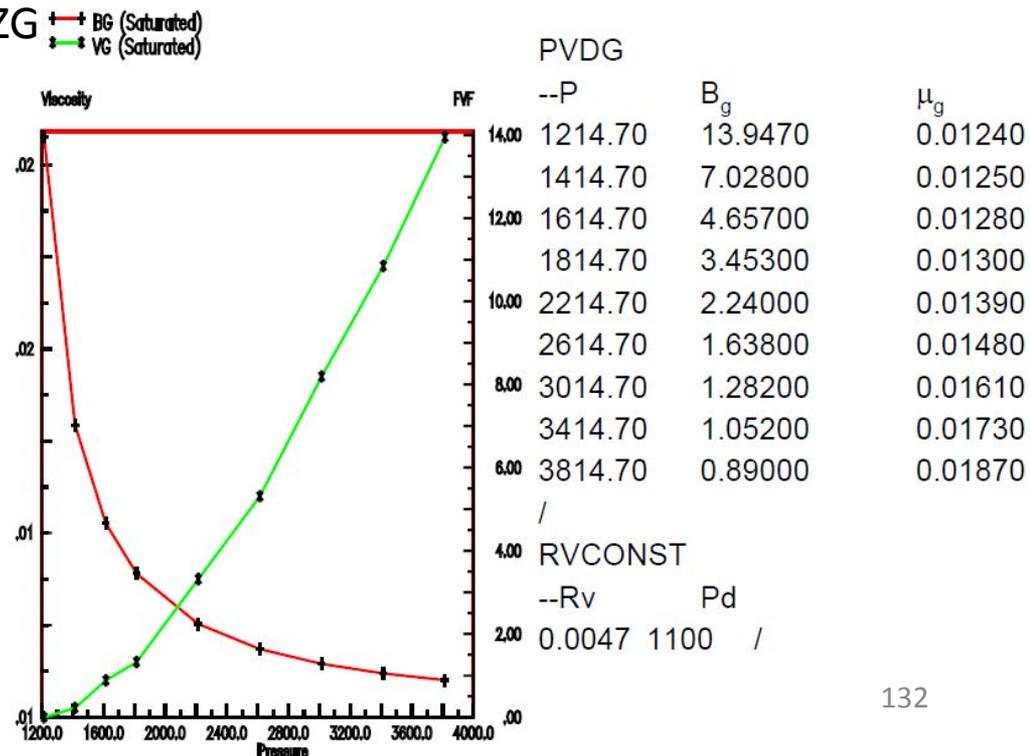
Газовая фаза содержит фиксированное количество испаренных компонентов.

Это определяется с использованием RVCONST. Если представлено более одного газа, RVCONSTT используется для задания точки росы GOR для каждого газа.

Обратите внимание, что единицы измерения FIELD в RCONST и RCONSTT Mscf/stb, где M обозначает 1000.

Ввод PVT свойств сухого газа с помощью PVDG

- Ключевое слово PVDG используется для определения свойств газа ниже точки росы или значительно ниже критической точки
- Это таблица зависимости объемного коэффициента и вязкости от давления
- Несколько таблиц PVDG могут быть после ключевого слова PVDG если в пласте находится несколько газов.
- Таблицы PVDG привязываются к определенным ячейкам или группам ячеек.
- Моделирование прерывается, если давление в любой ячейке сети достигает точки росы.
- PVDG является альтернативой PVZG



Ввод PVT свойств сухого газа с помощью PVDG

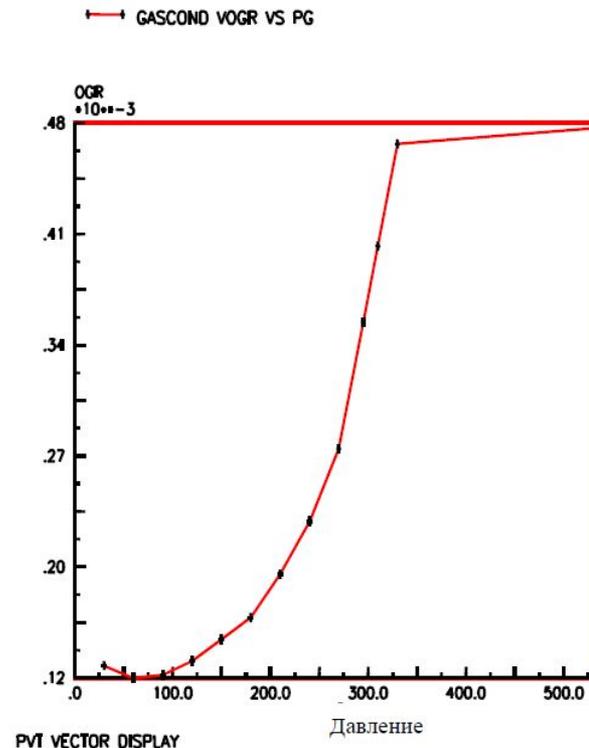
Формат ключевого слова включает параметры давления, коэффициента пластового объема газа и вязкости, располагаемые слева направо. По умолчанию введенные таблицы интерполируются **ECLIPSE**, **хотя давление не может быть** задано по умолчанию. Таблица заканчивается одиночным прямым слэшем.

Значение давления монотонно увеличиваться вниз по таблице. Коэффициент пластового объема должен монотонно увеличиваться, с увеличением давления. **ECLIPSE не выдает предупреждения или сообщения об ошибке, если это не** указано особо.

Т.к. пластовое давление не может опускаться ниже точки росы, не имеет смысла включать данные ниже P_d и минимальным давлением в таблице должно быть давление в точке росы. Если давление в какой-нибудь ячейке достигает точки росы, моделирование прерывается. Газовая фаза содержит фиксированное количество испаренных компонентов. Это определяется с использованием RVCONST. Если представлено более одного газа, RVCONSTT используется для задания GOR в точке росы для каждого газа. Обратите внимание, что единицы измерения FIELD в RCONST и RCONSTT Mscf/stb, где M обозначает 1000.

Ввод PVT данных жирного газа с использованием PVTG

- Ключевое слово PVTG используется для определения свойств газа выше (недонасыщенный) и ниже (насыщенный) точки росы
- Это таблицы зависимости R_v , B_g и вязкости от давления
- Недонасыщенные R_v , B_g и μ_g должны быть определены для максимального P_g .
- Несколько таблиц PVTG могут быть после ключевого слова PVTG если в пласте находится несколько жирных газов.
- Таблицы PVTG привязываются к определенным ячейкам или группам ячеек.



PVTG			
--P ^g	R _v	B _g	μ _g
30 ^g	0.000132	0.04234	0.01344
undersaturated	0	0.04231	0.01389 /
60	0.000124	0.02046	0.01420
undersaturated	0	0.02043	0.01450 /
90	0.000126	0.01328	0.01526
undersaturated	0	0.01325	0.01532 /
120	0.000135	0.00977	0.01660
undersaturated	0	0.00973	0.01634 /
150	0.000149	0.00773	0.01818
undersaturated	0	0.00769	0.01752 /
180	0.000163	0.006426	0.01994
undersaturated	0	0.006405	0.01883 /
210	0.000191	0.005541	0.02181
undersaturated	0	0.005553	0.02021 /
240	0.000225	0.004919	0.02370
undersaturated	0	0.004952	0.02163 /
270	0.000272	0.004471	0.02559
undersaturated	0	0.004511	0.02305 /
295	0.000354	0.004194	0.02714
undersaturated	0	0.004225	0.02423 /
310	0.000403	0.004031	0.02806
undersaturated	0	0.004081	0.02492 /
330	0.000469	0.003878	0.02925
undersaturated	0	0.003913	0.02583 /
530	0.000479	0.003868	0.02935
undersaturated	0	0.003903	0.02593 /

Ввод PVT данных жирного газа с использованием PVTG

Формат ключевого слова для насыщенных областей включает параметры давления, отношения нефть/газ, коэффициент сжимаемости газа и вязкость, в порядке слева направо. Для недонасыщенных областей значения P_g допускаются в дополнительных строчках данных. Введенные по умолчанию данные интерполируются ECLIPSE, **хотя значения P_g не могут быть заданы по умолчанию**. Таблица заканчивается одиночным прямым слэшем. Зависимость коэффициента пластового объема и вязкости от R_v . Прямые линии, пересекающие левую вертикальную ось представляют пересечение фазовой огибающей при фиксированном давлении.

Уравнение состояния воды

- Все значения зависят только от давления
- (s) относится к поверхностным условиям, (r) – к пластовым
- Водная фаза содержит только воду.
- Нефть и газ не могут растворяться в воде и наоборот
- Для каждой области PVT необходима одна строка данных в PVTW

$$\rho_w^{(r)} = \frac{\rho_w^{(s)}}{B_w}$$

где

$$B_w = \frac{V_w^{(r)}}{V_w^{(s)}}$$

**Уравнение состояния
воды**

Уравнение состояния воды

Уравнение состояния модели черной нефти для воды (EoS) рассматривает ее как однофазный флюид, чьи свойства зависят только от давления. PVT свойства воды задаются с использованием ключевого слова PVTW. К примеру

PVTW

--Pref Bw Cw μ_w C_{w μ}

4000 1.03 3.0E-6 0.40 0.0 /

где

Pref Давление для которого заданы все параметры

Bw Объемный коэффициент воды при относительном давлении

C_w Сжимаемость воды

$$C_w = \frac{1}{B_w} \left(\frac{dB_w}{dP} \right)$$

$$C_{w\mu} = \frac{1}{\mu_{bw}} \left(\frac{d\mu_w}{dP} \right)$$

μ_w это вязкость воды при относительном давлении

C_{w μ} это сжимаемость вязкости воды

ECLIPSE рассчитывает объемный коэффициент воды, аппроксимируя

$$B_w(P) = B_w(P_0) e^{-C_w(P - P_0)}$$

Где P₀ относительное давление, а C_w сжимаемость,

$$B_w(P) \approx B_w(P_0) \left(1 + C_w(P - P_0) + \frac{C_w^2 (P - P_0)^2}{2} \right)$$

Пластовая вода может отличаться в разных областях, в этом случае PVT свойства определяются для каждой области с использованием одной строки данных для каждой области в PVTW.

Относительные плотности

- В пласте жидкая углеводородная фаза это нефть обычно с растворенным в ней газом
- В пласте газообразная углеводородная фаза это газ, возможно с растворенной в нем нефтью
- Характеристики нефтяного и газового компонентов измеряются на линии сепараторов.
- Плотность

GRAVITY. $\rho_o^{(r)} = \frac{\rho_o^{(s)} + R_s \rho_g^{(s)}}{B_o}$

$$\rho_g^{(r)} = \frac{\rho_g^{(s)} + R_v \rho_o^{(s)}}{B_g}$$

$$\rho_w^{(r)} = \frac{\rho_w^{(s)}}{B_w}$$

Плотность флюидов в поверхностных условиях задается:

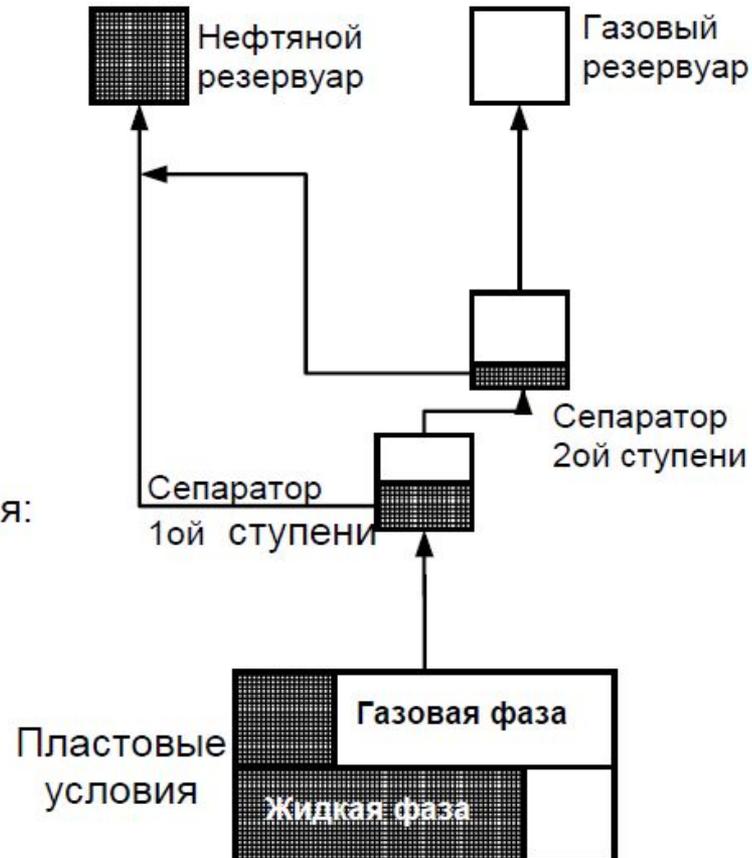
DENSITY

--Нефть Вода Газ

или

GRAVITY

--Нефть Вода Газ



ГТУ или

Относительные плотности

В модели черной нефти все PVT свойства являются функциями давления. Поверхностные свойства каждого компонента также зависят от давления и температуры. Стандартные давление и температура не определяются в ECLIPSE; они могут принимать любые значения на поверхности. Плотности в стандартных условиях могут быть заданы через плотности или через удельный вес нефти в единицах API. К примеру:

GRAVITY

--	Плотность нефти	Отн. плотность	Отн. плотность
--	API	воды	газа
	32	1.050	0.700 /

или

DENSITY

--	Плотность	Плотность	Плотность
--	Нефти	Воды	Газа
--	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
	865	1050	0.9051 /

где

$$API = \frac{141.5}{gravity} - 131.5$$

Где gravity – удельный вес жидкости, а API измеряется в градусах. Удельный вес воды это отношение плотности воды к плотности чистой воды. Удельный вес газа – это отношение плотности газа к плотности воздуха. Этот и другие методы пересчета единиц измерения можно найти в ECLIPSE 100 TECHNICAL DESCRIPTION.

Фазы модели черной нефти

- Могут быть одна, две или три активных фазы: OIL, WATER и GAS.
- Фаза OIL может содержать растворенную газовую компоненту, определенную DISGAS
- Фаза GAS может содержать испаренную нефтяную компоненту, определенную VAPOIL
- Одиночная фаза не может содержать компонентов, которые образуют другие фазы в процессе моделирования.

Фазы модели черной нефти

Комбинации фаз			RUNSPEC ключевые слова
3	“Живая” нефть с растворенным газом	Вода	OIL, GAS, DISGAS, WATER
3		Вода	Жирный газ с испаренной нефтью
			GAS, OIL, VAPOIL, WATER
3	“Живая” нефть с растворенным газом	Вода	Жирный газ с испаренной нефтью
			OIL, GAS, DISGAS, VAPOIL, WATER
2	“Мертвая” нефть	Вода	
			OIL, WATER
2		Вода	Сухой газ
			GAS, WATER
2	“Мертвая” нефть		Сухой газ
			OIL, GAS
1	“Мертвая” нефть		
			OIL
1		Вода	
			WATER
1			Сухой газ
			GAS

Фазы модели черной нефти

Трехфазное моделирование

В трехфазном моделировании OIL, WATER и GAS представлены и определены в разделе RUNSPEC. В этом случае должны присутствовать «живая» нефть или жирный газ. В результате газ выделяется из раствора, когда нефть пересекает точку насыщения, или нефть конденсируется из паров, когда газ пересекает точку росы, в зависимости от того, находится ли фазовая смесь слева или справа от критической точки.

- В трехфазной модели слева от критической точки система должна насыщаться нефтью ниже критической температуры и давления. Газ сухой, но нефть содержит газовую составляющую, которая может выделяться из раствора. Ключевые слова раздела RUNPSEC - OIL, WATER, GAS и DISGAS. Также могут быть некоторые изменения в отношении газ/нефть в зависимости от глубины, которые первоначально устанавливаются с использованием ключевого слова RSVD в разделе SOLUTION. Или же изменения точки насыщения в зависимости от глубины, которые устанавливаются с использованием PBVD в разделе SOLUTION. Значение R_s может изменяться в ходе процесса.

Фазы модели черной нефти

Трехфазное моделирование

- В трехфазной модели справа от критической точки система должна быть газоконденсатной. Нефть «мертвая», но газ содержит испаренную нефтяную компоненту, которая может конденсироваться. Ключевые слова раздела RUNPSEC - OIL, WATER, GAS и VAPOIL. Также могут быть некоторые изменения в отношении нефть/газ в зависимости от глубины, которые первоначально устанавливаются с использованием ключевого слова RVVD в разделе SOLUTION, или изменения точки насыщения в зависимости от глубины, которые устанавливаются с использованием PDVD в разделе SOLUTION. Значение Rv может изменяться в ходе процесса.

Фазы модели черной нефти

Двухфазное моделирование

В двухфазном моделировании возможны сочетания OIL и WATER, WATER и GAS, GAS и OIL.

- В системе WATER и OIL газовая фаза не определена, таким образом свободный газ отсутствует. Нефть всегда выше критической точки. Постоянное значение R_s нефти может быть задано в каждой области PVT с использованием RSCONST или RSCONSTT. RSVD можно не использовать.
- В системе GAS и WATER нефтяная фаза не определена, таким образом жидкая нефть отсутствует. Газ не пересекает точку росы. Постоянное значение R_v газа может быть задано для каждой области PVT с использованием RVCONST или RVCONSTT. RVVD можно не использовать.
- В системе OIL и GAS допускается наличие газа, растворенного в нефти и паров нефти в газе. Могут, но не обязательно, использоваться ключевые слова VAPOIL и DISGAS вместе или по отдельности. Ключевые слова RSVD и/или RVVD могут применяться при необходимости.

Фазы модели черной нефти

Однофазное моделирование

В модели используется одна фаза. Это может быть OIL, WATER или GAS.

- При моделировании нефти газовая фаза не определена, таким образом нефть

всегда выше критической точки. Постоянное значение R_s нефти может быть

задано в каждой области PVT с использованием RSCONST или RSCONSTT.

RSVD

можно не использовать

- При моделировании газа нефтяная фаза не определена, таким образом газ не

пересекает точку росы. Постоянное значение R_v газа может быть задано для

каждой области PVT с использованием RVCONST или RVCONSTT. RVVD можно не

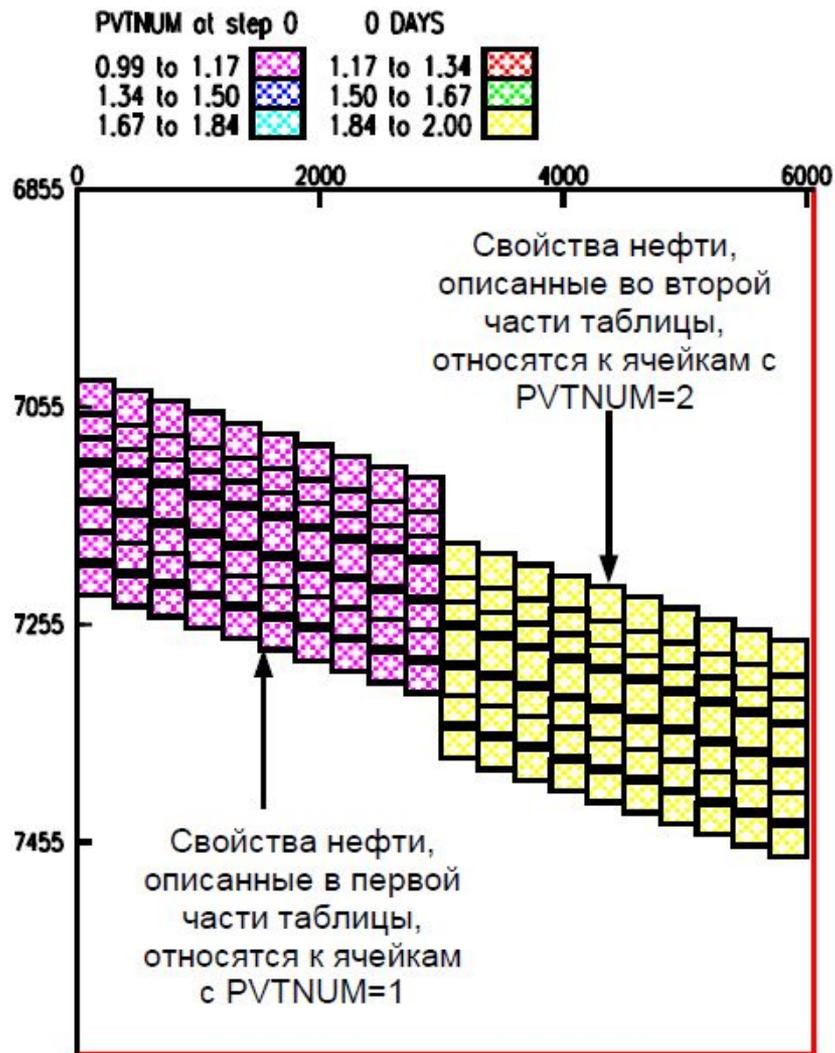
использовать.

- При моделировании воды представлена только водяная фаза.

Описание различных PVT свойств с помощью PVT регионов

- По умолчанию моделирование разных типов нефтей в отдельных областях состоит в задании всех PVT свойств для каждой отдельной области.
- Каждой ячейке в каждой области назначается значение с использованием PVTNUM в разделе REGIONS
- PVTNUM это целое, которое указывает, какие таблицы PVT должны быть использованы в данной ячейке
- Сводные таблицы PVT вводятся под каждым соответствующим ключевым словом
- Таблицы нумеруются в порядке ввода
- Одинаковые таблицы могут быть устранены. Это может быть, к примеру, если PVT нефти изменяется, а свойства остальных флюидов - нет.
- Флюид, находящийся в ячейке, обладает PVT свойствами этой ячейки

Описание различных PVT свойств с помощью PVT регионов



RUNSPEC

```

--Количество таблиц
--задается в TABDIMS
PROPS
PVTW
--2 для воды
PVDO
-- 2 для «мертвой» нефти
GRAVITY
-- таблицы плотностей для
--1го и 2го типа флюида
RSCONSTT
--GOR для 1 и 2 нефти
REGIONS
EQUALS
--Array      Value I1  I2
PVTNUM      2
PVTNUM      1      1  10 /
/
COPY
'PVTNUM'    'EQLNUM' /
/
    
```

Описание различных PVT свойств с помощью PVT регионов

Если пласт может быть разделен на несколько областей, PVT свойства которых значительно отличаются, простейший метод описания свойств состоит в составлении таблиц PVT для каждой области. Место для таблиц должно быть также зарезервировано в разделе RUNSPEC.

Как определить разные PVT свойства с помощью PVT регионов

В качестве примера рассмотрим модель «мертвой» нефти и воды 20*5*10, включающую нефть с различными точками насыщения и поверхностной плотностью на участках (1-10, 1-5, 1-10) и (11-20, 1-5, 1-10).

Соответствующими ключевыми словами PVT могут быть

PVTW

4000 1.03 3.0E-6 0.40 0.00 / PVT таблица 1 для воды

--PVT таблица 2 для воды аналогична таблице 1

/

Описание различных PVT свойств с помощью PVT регионов

PVDO

2500 1.260 0.5

3000 1.257 0.5

3500 1.254 0.5

4000 1.251 0.5

4500 1.248 0.5

/ PVT таблица 1 для «мертвой» нефти

2550 1.191 0.5

3050 1.198 0.5

3550 1.205 0.5

4050 1.213 0.5

4550 1.220 0.5

/ PVT таблица 2 для «мертвой» нефти

GRAVITY

32 1.050 0.700 / Таблица 1 плотности флюида в поперхн. условиях.

33.5 1.050 0.700 / Таблица 2 плотности флюида в поперхн. условиях.

RSCONSTT

0.656 2500 / Точка насыщения GOR для нефти в таблице 1

0.670 2550 / Точка насыщения GOR для нефти в таблице 2

Любые таблицы PVT для газа должны выглядеть таким же образом.

Описание различных PVT свойств с помощью PVT регионов

Дополнительные ключевые слова раздела RUNSPEC могут быть следующими

TABDIMS

--NTSFUN NTPVT

1* 2 /

где NTSFUN количество вводимых таблиц функций насыщения, а NTPVT количество введенных таблиц PVT.

Каждая область PVT должна быть определена с использованием PVTNUM в разделе REGIONS. Здесь соответствующими ключевыми словами будут REGIONS

EQUALS

'PVTNUM' 1 /

'EQLNUM' 1 /

'PVTNUM' 2 11 20 /

'EQLNUM' 2 11 20 /

/

Области EQLNUM соответствующие областям PVTNUM должны быть определены, т.к.

ECLIPSE требует, чтобы каждая область PVT была сбалансирована отдельно.

Существует дополнительное требование по определению количества

сбалансированных областей в разделе RUNSPEC с использованием ключевого слова EQLNUM.

Описание различных PVT свойств с помощью PVT регионов

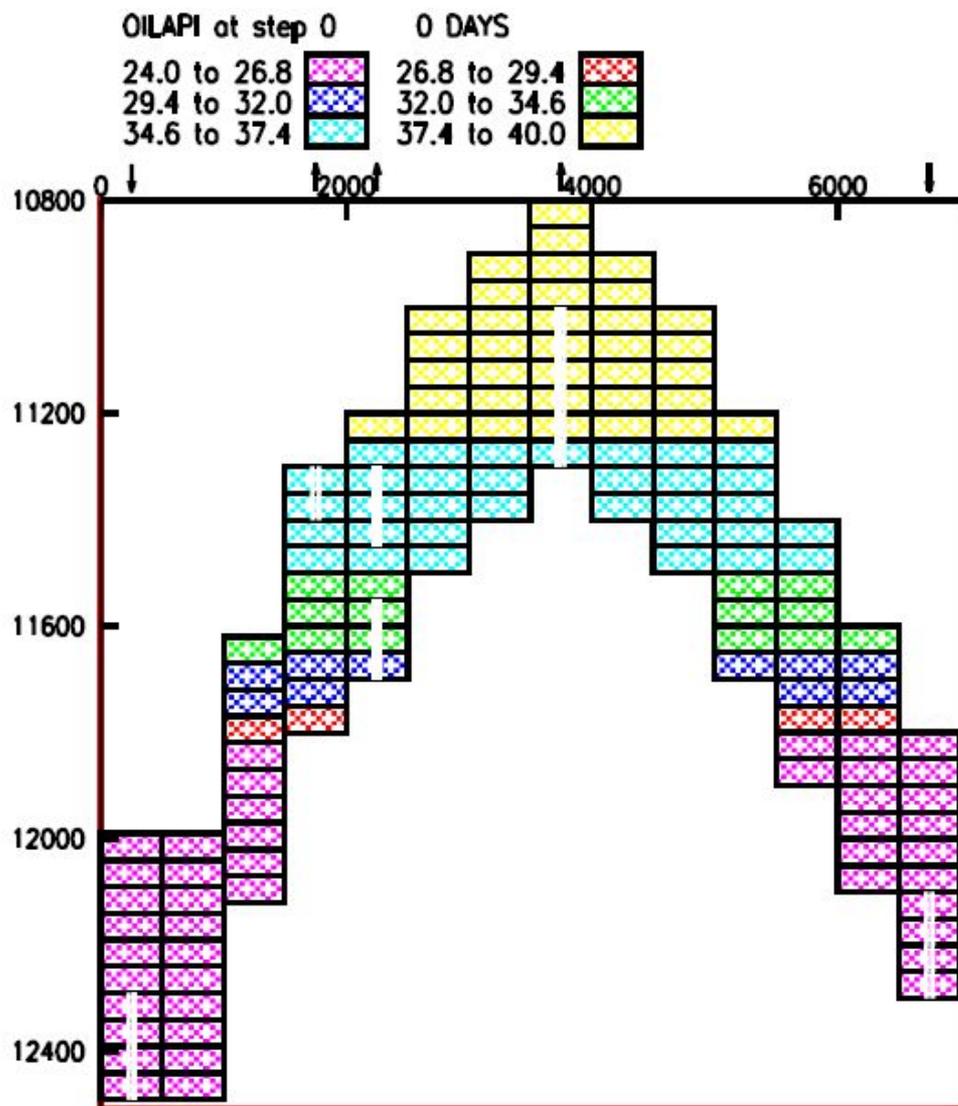
Хотя этот метод достаточно прост в применении, существуют следующие неудобства:

- Бессмысленно предполагать, что PVT свойства флюида в реальности зависят от того, в какой ячейке он оказался.
- Могут возникнуть проблемы несходимости. К примеру, рассмотрим нефть с GOR 0.5, попадающую в ячейку с максимальным GOR 0.4. Для сохранения массы должен быть высвобожден газ. Если нет соответствующих данных в PVT таблице газа в ключевом слове PVDG, **ECLIPSE будет экстраполировать** газовые таблицы PVT по необходимости. При этом экстраполяция может быть некорректной из-за неполной информации.

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

- С помощью API трассировки начальная плотность API устанавливается в модели. PVT свойства воды и газа остаются неизменными.
- **ECLIPSE отслеживает плотность нефти в каждой ячейке**
- Поверхностная плотность нефти берется из таблиц PVT
- Соотношение в ячейке нефти с различной плотностью может быть рассчитано из потока
- Плотность на поверхности смеси это плотность в поверхностных условиях нефтяных компонент, взвешенная в соответствии с их концентрацией
- Таблица PVT смешанной нефти интерполируется в каждой ячейке из нефтяных компонент, пропорционально их концентрации.
- Плотность смеси в условиях пласта рассчитывается из таблиц PVT
- Для активизации этой опции используется ключевое слово API в разделе RUNSPEC
- Начальная плотность API нефти определяется с помощью OILAPI или APIVD.
Не разделяйте пласт на разные PVT и уравнивающие регионы

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти



RUNPSEC

-- Активирование API трассировки

API

--

--

PROPS

--As a minimum:-

--A full set of fluid PVT

--tables is

--required for the lowest and highest

--API gravities

--Other PVT data as normal

--

SOLUTION

--Начальное API нефти

--через

--OILAPI (одно значение

на ячейку) или

--APIVD (функция от

-- глубины)

-- Другая часть секции

--SOLUTION

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

Описание различных PVT свойств с помощью API трассировки

Опция API трассировки используется для расчета PVT свойств смеси различных нефтей.

Как выполнить API трассировку

- Ключевое слово API должно присутствовать в разделе RUNSPEC.
- Эта опция не требует деления пласта на PVT и уравнивающие регионы.
- В разделе SOLUTION начальная API плотность нефти задается напрямую в ячейке с использованием OILAPI или как функция глубины, с использованием APIVD.
- Должны быть заданы хотя бы два комплекта таблиц PVT. Они должны охватывать все значения первоначальной API плотности нефти.
- Память для таблиц PVT резервируется с использованием TABDIMS в разделе RUNPSEC.
- Так как API отслеживание рассчитывает только PVT свойства нефти, дублирующие таблицы PVT для газа и воды могут быть опущены.

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

В процессе моделирования:

- **ECLIPSE** рассчитывает количество различной API нефти, перетекающей из ячейки в ячейку.
- Рассчитывается плотность в поверхностных условиях каждой нефти
- Средняя плотность линейно интерполируется на основе пропорций каждой представленной нефти.
- Таким же образом рассчитываются средние PVT.
- PVT затем подгоняются под условия пласта.

К примеру, половину ячейки с нефтью 30° API занимает нефть с 20° API. Это поверхностные плотности. **ECLIPSE** рассчитывает **поверхностную плотность** нефтяной смеси как 25° API. Это используется в слагаемом $\rho_o(s)$ уравнения состояния. Новые PVT свойства нефти рассчитываются как среднее арифметическое от таблиц PVT для нефти с 20° и 30°.

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

Этот метод изменения свойств PVT нефтяной смеси имеет следующие преимущества:

- Могут приниматься во внимание усредненные нефтяные смеси
- PVT свойства нефти не изменяются при перетекании из одной ячейки в другую

Принципиальный недостаток в следующем -

- **ECLIPSE линейно интерполирует таблицы PVT пропорционально массе** каждой нефти, но зависимость свойств нефти от API нелинейна. Количество таблиц PVT должно быть дополнено PVT таблицами для промежуточных плотностей нефти, для уверенности в адекватности результата интерполяции. Чем больше это количество, тем, скорее всего, будет лучше результат

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

Пример данных API трассировки

В качестве примера рассмотрим нефть, со значениями от 40° на 10800 футах до 24° на 11920 футах. PVT свойства газа и воды в пласте не изменяются. API плотность измерена на восьми глубинах. Раздел PROPS для свойств флюида может содержать следующее:

PVDG

-- PVT таблица No 1 для сухого газа.

15 235 .008

500 6.711 .0109

1000 3.145 .0139

1500 1.987 .0168

2000 1.431 .0197

2500 1.117 .0226

3000 .923 .0256

3500 .798 .0285

4000 .716 .0314

4500 .663 .0344

5000 .630 .0373

5500 .612 .0402

5600 .609 .0408

6000 .599 .0431

6500 .596 .0460

/

--Все остальные PVT таблицы сходны с таблицей No.1,

--потому что API трассировка влияет на свойства нефти. /

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

Пример данных API трассировки

PVTO

-- PVT таблица No.1 для «живой» нефти

.200 600 1.185 .60 /
.400 1400 1.285 .60 /
.622 2200 1.395 .60 /
.686 2420 1.430 .60 /
.746 2650 1.460 .60 /
.804 2830 1.485 .60 /
.900 3130 1.530 .60 /
1.050 3590 1.600 .60 /
1.358 4430 1.750 .60
6500 1.738 .60 /
1.882 5600 2.020 .60
6500 2.000 .60 /
2.285 6500 2.230 .60
7000 2.218 .60 /

/ PVT таблица No.2 для «живой» нефти

.200 700 1.190 .60 /
.400 1500 1.295 .60 /

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

Пример данных API трассировки

/ PVT таблица No.3 для «живой» нефти

.200 770 1.190 .60 /

.400 1610 1.300 .60 /

.622 2460 1.405 .60 /

.686 2700 1.435 .60 /

.746 2920 1.470 .60 /

.804 3110 1.495 .60 /

.900 3430 1.535 .60 /

1.050 3900 1.595 .60

6500 1.530 .60 /

1.358 4850 1.720 .60 /

1.882 6470 1.930 .60 /

2.285 7720 2.090 .60

8000 2.081 .60 /

/ PVT таблица No.4 для живой нефти

200 770 1.190 .60 /

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

PVTW

-- PVT таблица No 1 для воды

5000 1.0000 3.0E-6 0.3 0 /

-- PVT таблицы 2-8 аналогичны таблице No. 1

-- потому что API трассировка влияет только на нефтяную фазу/

/

/

/

/

/

/

ROCK

-- Таблица сжимаемости породы No 1

50003.5E-06 /

-- Таблицы сжимаемости 2-8 аналогичны таблице 1

/

/

/

/

Ключевые слова для API трассировки и начальное API нефти

GRAVITY

-- 8 таблиц поверхностной API плотности

40.0 1.16 0.824 /

38.7 1.16 0.824 /

36.4 1.16 0.824 /

34.5 1.16 0.824 /

31.9 1.16 0.824 /

29.7 1.16 0.824 /

26.8 1.16 0.824 /

24.0 1.16 0.824 /

SOLUTION

APIVD

--8 таблиц зависимости API плотности от глубины

10800 40.0

11100 38.7

11350 36.4

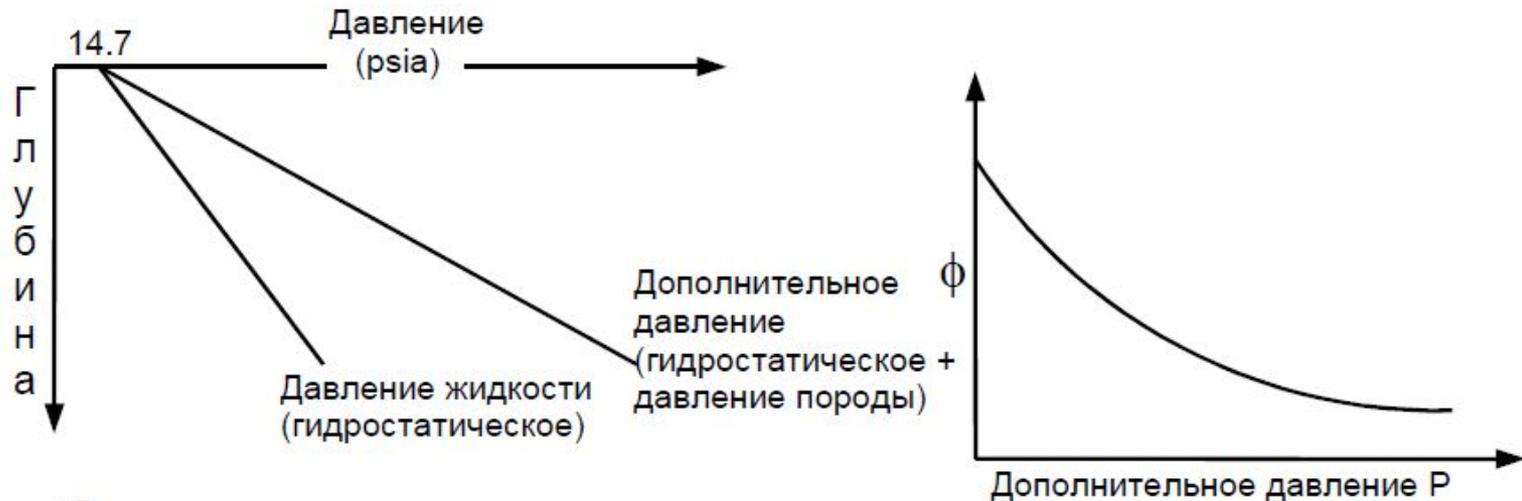
11500 34.5

11670 31.9

Сжимаемость горной породы

- Следует определять сжимаемость горной породы, т.к. объем пор изменяется при изменении давления
- Если сжимаемость породы обратима и одинакова используйте ключевое слово ROCK. Данные RUNPSEC в этом случае не нужны.
- В противном случае используйте опцию сжатия породы
- Установите опции сжимаемости и гистерезиса с использованием ROCKCOMP в RUNSPEC
- Используйте ROCKTAB или ROCKTABN для определения данных о сжатии горной породы, включая модификаторы объема пор и проводимости в зависимости от давления
- ROCKTAB используется для определения обратимой сжимаемости
- ROCKTABN используется для определения необратимой сжимаемости, т.е. гистерезиса сжатия.
- Используйте ROCKNUM для обозначения областей различных типов пород вместе с различными таблицами ROCKTAB или ROCKTABN
- Ключевое слово OVERBURD может быть использовано в любом случае для определения таблиц перегрузки пород

Сжимаемость горной породы



Сжимаемость

$$C = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P}$$

где

$$\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P} = \frac{1}{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial P}$$

Для гистерезисной сжимаемости

Используется :

ROCK

--Заданное Сжимаемость

--давление

-- для различных типов пород:

--1. По умолчанию: PVTNUM;

--2. используйте SATNUM:

-- pre-99a: переключатель 43 : OPTIONS>0

-- 99a: переключатель 3 ='SATNUM' в ROCKOPTS

Сжимаемость горной породы

Объем пор зависит от давления, как

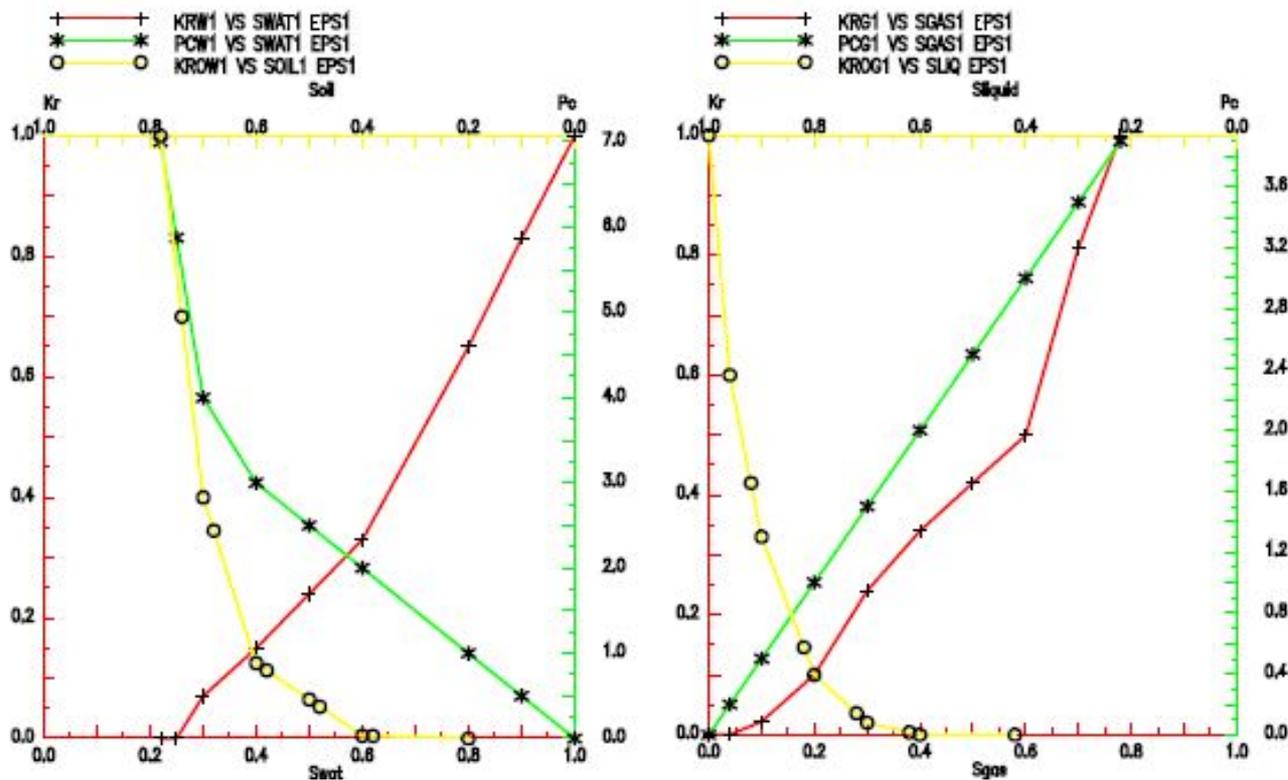
$$PV^R = PV^S \exp\{-C(P^R - P^S)\}$$

Что представлено в ECLIPSE как

$$PV^R \cong PV^S \left\{ 1 - C(P^R - P^S) + \frac{C^2(P^R - P^S)^2}{2} \right\}$$

Где индексы R и S относятся, соответственно, к пластовому и поверхностному давлению, а C – сжимаемость породы. **ECLIPSE использует приближительную** форму. ROCK используется для задания однородной сжимаемости в каждой области PVT, т.е. количество таблиц в ключевом слове ROCK должно быть равно количеству используемых таблиц PVT которое задается параметром NTPVT в RUNSPEC ключевым словом TABDIMS. Если установлен ROCKOPTS переключатель 3='SATNUM', таблицы сжимаемости пород связываются с регионами насыщенности (SATNUM), а не с PVT регионами (PVTNUM). ROCKTAB и ROCKTABN используются для установки обратимой и гистерезисной сжимаемости породы, соответственно. Введенное ключевое слово следует за таблицей NTROCC как установлено в RUNSPEC ключевым словом ROCKCOMP. Каждая таблица содержит колонки давления, множителя объема пор и соответствующего множителя проводимости.

Функции насыщения и масштабирование конечных точек



- Минимальные требуемые моделью данные – капиллярное давление и проницаемость для каждой активной фазы
- Данные вводятся в табличной форме, как функции насыщения
- ECLIPSE не располагает возможностями для расчета данных по свойствам пород из заданных пользователем корреляций.

Функции насыщенности и масштабирование концевых точек

Функция насыщенности предназначена для:

- Определения верхних и нижних границ насыщенности каждой активной фазы. Что в свою очередь используется для определения начальной насыщенности каждой фазы в газовой, нефтяной и водной зонах.
- Для определения капиллярных давлений так, чтобы можно было рассчитать первоначальную переходную зону для каждой фазы.
- Представить данные относительной проницаемости для вычисления мобильности флюидов и решения уравнений потока между ячейками, из ячейки в скважину и наоборот.

Группа 1

SWOF Krw, Krow, Pcow vs. Sw @ (связанный газ – не активный)

SGOF Krg, Krog, Pcog vs. Sg @ связанная вода

SLGOF Krg, Krog, Pcog vs. Sl @ связанная вода

Группа 2

SWFN Krw, Pcw vs Sw (в 3-фазных или водонефтяных системах при связанном газе)

SGFN Krg, Pcg vs. Sg (в 3-фазных или газонефтяных системах при связанной воде)

SOF3 Kro, Krg vs So

SOF2 Kro vs So

SOF32D Kro vs Sw and Sg

Ключевые слова из разных групп нельзя смешивать

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек

Функции насыщенности это таблицы относительной проницаемости и капиллярного давления в зависимости от насыщенности. Они должны быть представлены для всех фаз.

Правила создания и оформления таблиц:

- Каждая таблица содержит множество колонок данных
- Во всех колонках любой таблицы должно быть одинаковое количество значений.
- Количество рядов данных в каждой таблице должно быть не меньше двух и не больше параметра NSSFUN ключевого слова TABDIMS в разделе RUNPSEC.
- При использовании нескольких таблиц их количество должно быть определено при помощи NTSFUN в разделе RUNPSEC.
- Фазовая насыщенность и относительная проницаемость замещающей фазы должны находиться в пределах между 0 и 1 и монотонно возрастать вниз по колонке, за исключением ключевых слов SOF2, SOF3 и SOF32D.

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек

Правила создания и оформления таблиц:

- Относительная проницаемость замещаемой фазы должна находиться в пределах между 0 и 1 и монотонно убывать вниз по колонке, за исключением ключевых слов SOF2, SOF3 и SOF32D.
- Капиллярное давление должно быть больше или равно нулю, оставаться неизменным или убывать вниз по таблице.
- Значения насыщенности не могут быть заданы по умолчанию
- Заданные по умолчанию значения относительной фазовой проницаемости будут интерполированы **ECLIPSE**.
- Каждая таблица заканчивается прямым слэшем (/) и каждое ключевое слово может содержать несколько таблиц.
- Все последующие таблицы может быть определены по умолчанию, с использованием прямого слэша, после первой.
- Всегда $S_o+S_w+S_g=1$.

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек

Первый набор ключевых слов функций насыщенности

SWOF

Это ключевое слово может использоваться в моделях, содержащих как воду, так и нефть. Если газ также находится в активной фазе, функции насыщения нефть/газ могут быть введены с использованием SGOF или SLGOF.

SWOF

--Sw	krw	krow	Pcow
0.2	0.00	0.90	4.0
0.3	0.05	0.75	2.0
0.4	1*	0.55	1.0
0.5	2*		0.5
0.6	3*		
0.7	0.40	0.00	0.10 /

т.е. колонки водонасыщенность, относительная проницаемость воды, относительная проницаемость нефти в воде, когда в системе представлены только две фазы нефть и вода, а также водо-нефтяное капиллярное давление. Относительные проницаемости и капиллярное давление – функции от водонасыщенности.

Данная таблица интерпретируется как относительная проницаемость нефть/вода при начальной насыщенности газа (начальная насыщенность газа обычно равна нулю). Если присутствует свободный газ, то относительная проницаемость нефть/вода при максимальной насыщенности нефти должна быть такой же, как относительная проницаемость нефть/газ при минимальном газонасыщении.

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек

Первый набор ключевых слов функций насыщенности

SGOF

Это ключевое слово может использоваться в моделях, содержащих как газ, так и нефть как активные фазы. Если вода тоже активна, функции насыщения вода/нефть должны быть введены с использованием SWOF.

SGOF

--Sg krg krog P_{cog}

т.е. колонки газонасыщенности, относительной проницаемости газа и относительной проницаемости нефти в газе при водонасыщенности на уровне связанной воды (connate water saturation). Относительные проницаемости и капиллярное давление – функции от газонасыщенности.

Эта таблица интерпретируется, как двухфазная относительная проницаемость нефть/газ при наличии в системе только связанной воды. При наличии свободной воды, относительная проницаемость нефть/газ при начальной насыщенности газа должна равняться относительной проницаемости нефть/вода при максимальной нефтенасыщенности.

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек

Первый набор ключевых слов функций насыщенности

SLGOF

Это ключевое слово может использоваться в моделях, содержащих газ и нефть в активных фазах. Если вода тоже активна, функции насыщения вода/нефть должны быть введены с использованием SWOF

SLGOF

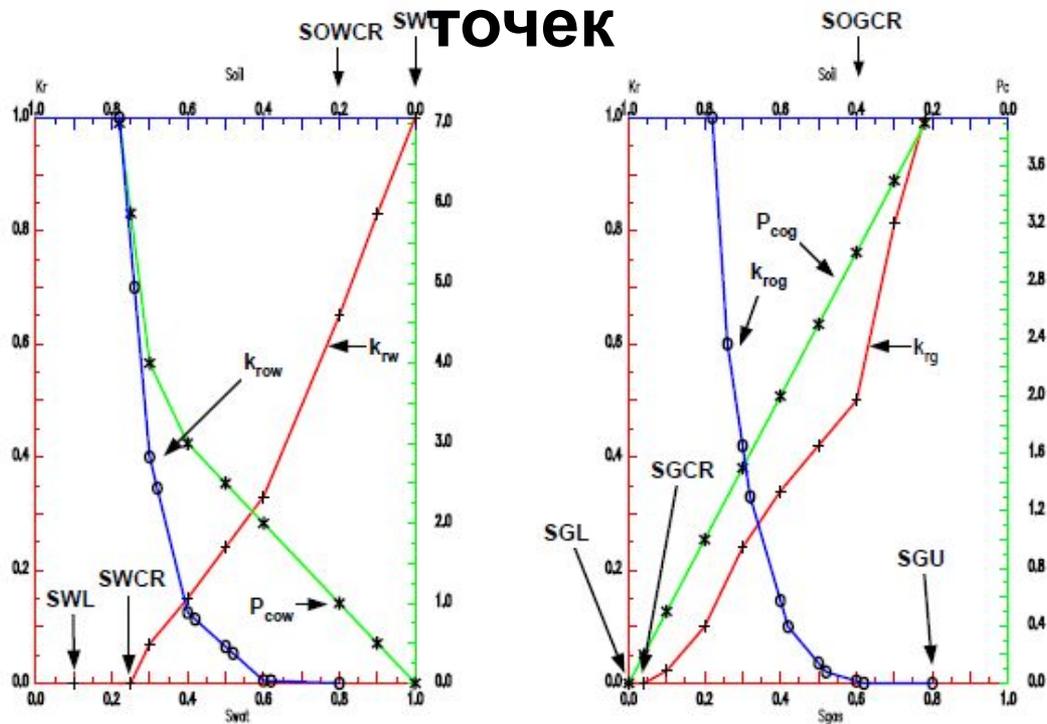
--SI krg krog P_{cog}

т.е. колонки насыщенность жидкостью, относительная проницаемость газа, относительная проницаемость нефти в газе при водонасыщенности на уровне связанной воды и капиллярное давление нефть/газ. Относительные проницаемости и капиллярное давление – функции от насыщенности жидкостью.

Второй набор ключевых слов функций насыщенности

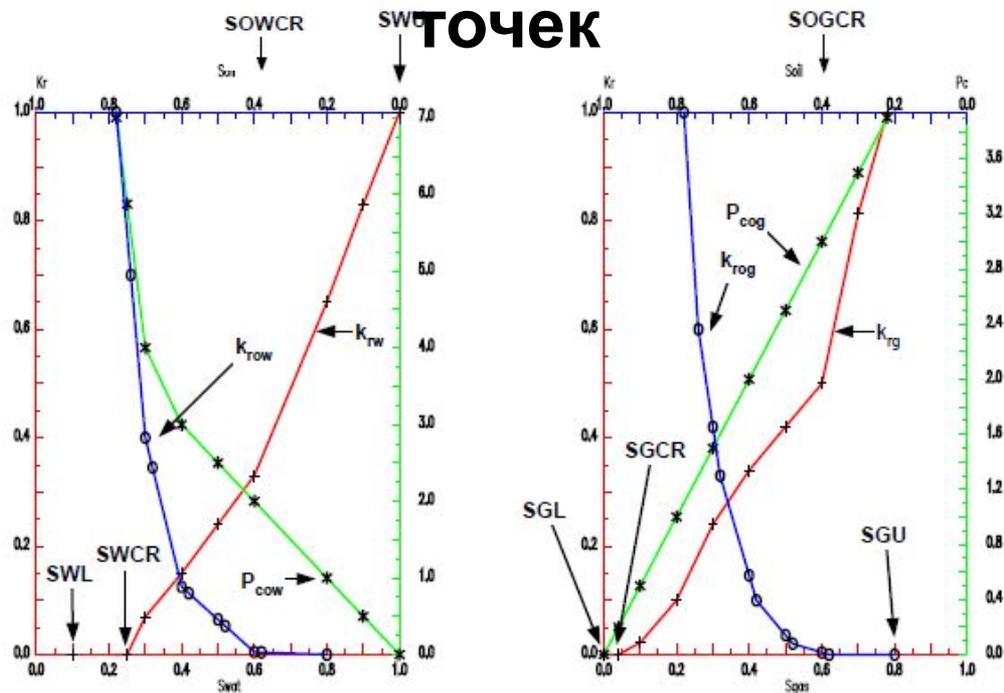
Остается на самостоятельное изучение. Он реже используется (например, заводнение со смешиванием (Miscible flood) или использование функции растворитель (Solvent option), а также в случае 2-хфазного запуска без нефти (водогазового расчета))

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек



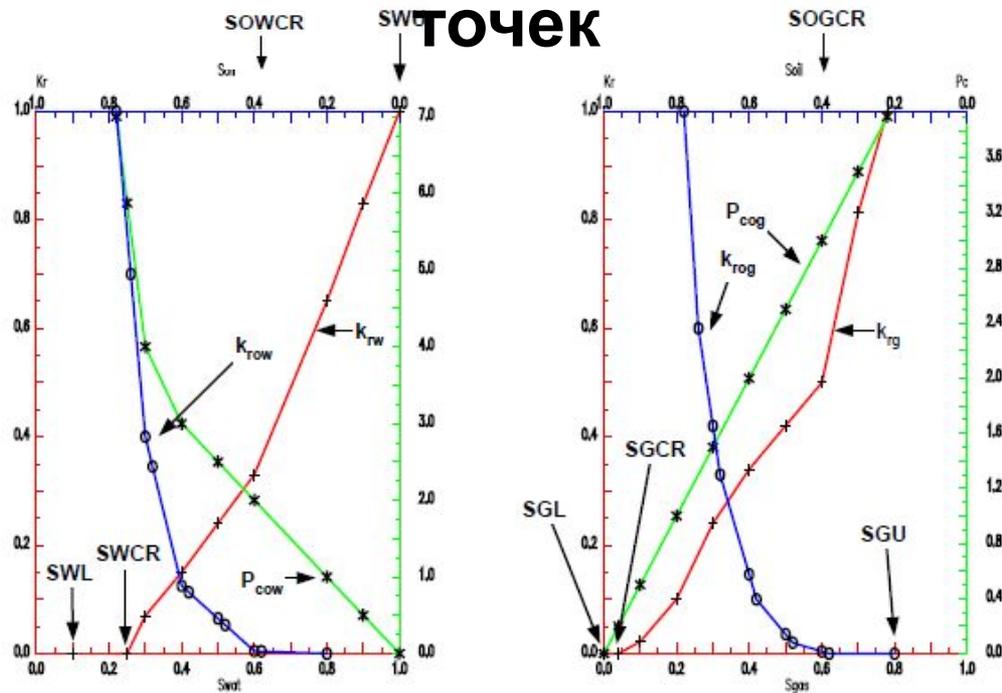
- SWL – насыщенность связанной воды, обозначаемая S_{wco} . Это наименьшее значение насыщенности воды для любой рассматриваемой функции насыщенности воды и часто определяется как неснижаемая водяная насыщенность.
- SWCR – критическая насыщенность воды, обозначаемая S_{wcr} . Это наибольшее значение насыщенности воды во всех таблицах для неподвижной воды ($k_{rw} = 0$).
- SWU – максимальная насыщенность воды, обозначаемая S_{wu} . Это наибольшее значение насыщенности воды для любой рассматриваемой функции насыщенности воды.

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек



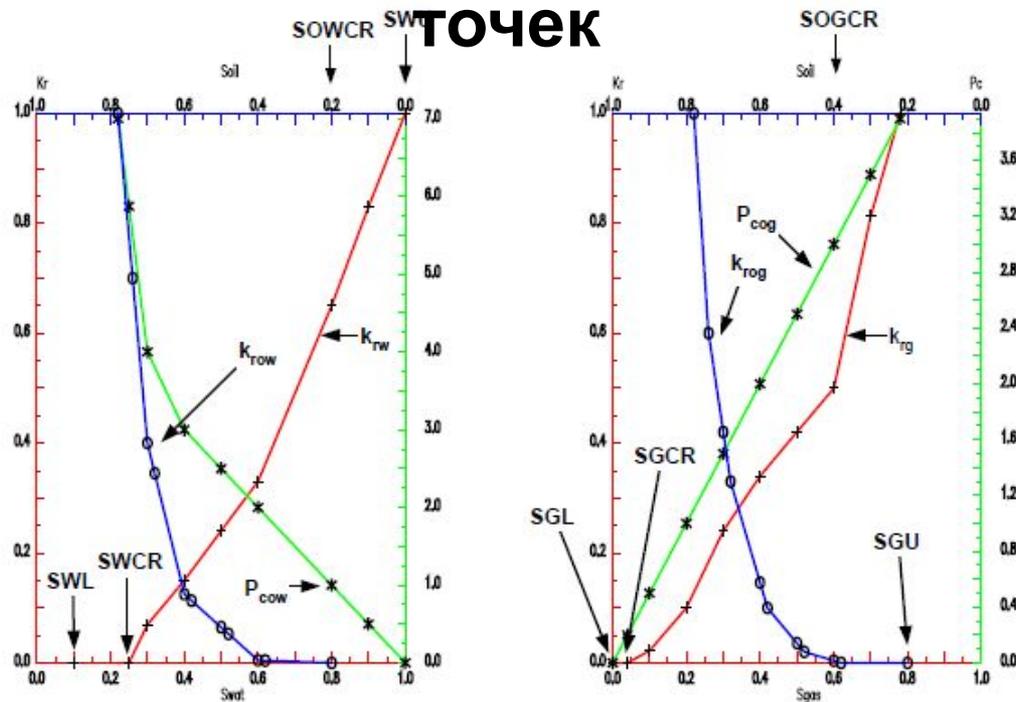
- SGL - начальная насыщенность газа, обозначаемая S_{gco} . Это наименьшее значение насыщенности газа для любой взятой функции насыщенности газа.
- SGCR – критическая насыщенность газа, обозначаемая S_{gcr} . Это наибольшая насыщенность газа во всех таблицах для неподвижного газа ($k_{rg} = 0$).
- SGU – максимальная насыщенность газа, обозначаемая S_{gu} . Это наибольшее значение насыщенности газа для любой взятой функции насыщенности газа.
- SOWCR – критическая насыщенность нефти в воде, обозначаемая S_{owcr} . Это наибольшее значение насыщенности нефти, при котором нефть неподвижна в воде.
- SOGCR – критическая насыщенность нефти в газе, обозначаемое S_{ogcr} . Это ¹⁷³наибольшее значение насыщенности нефти, при котором нефть неподвижна в

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек



- SGL - начальная насыщенность газа, обозначаемая S_{gco} . Это наименьшее значение насыщенности газа для любой взятой функции насыщенности газа.
- SGCR – критическая насыщенность газа, обозначаемая S_{gcr} . Это наибольшая насыщенность газа во всех таблицах для неподвижного газа ($k_{rg} = 0$).
- SGU – максимальная насыщенность газа, обозначаемая S_{gu} . Это наибольшее значение насыщенности газа для любой взятой функции насыщенности газа.
- SOWCR – критическая насыщенность нефти в воде, обозначаемая S_{owcr} . Это наибольшее значение насыщенности нефти, при котором нефть неподвижна в воде.
- SOGCR – критическая насыщенность нефти в газе, обозначаемое S_{ogcr} . Это ¹⁷⁴наибольшее значение насыщенности нефти, при котором нефть неподвижна в

Функции насыщенности и масштабирование конечных точек

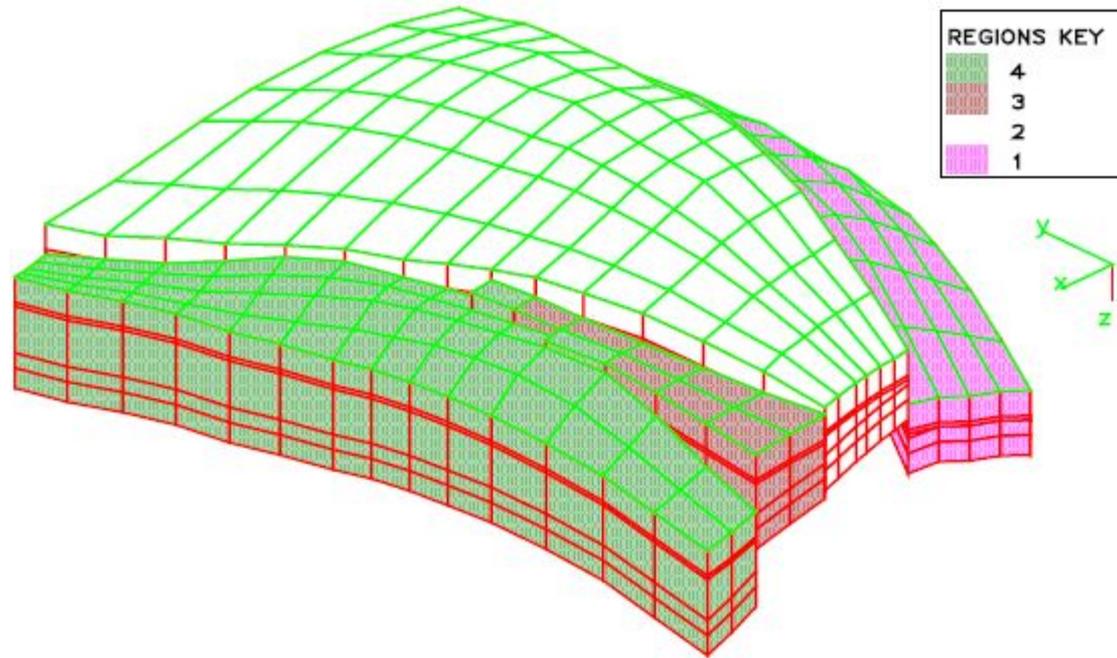


- Целью масштабирования конечных точек является обеспечение относительно небольшого количества общих функций насыщенности
- Функции насыщенности изменяются и адаптируются к существующим типам пород
- Существуют три основных способа масштабирования:
 - 1) Масштабирование по оси насыщенности с изменением относительной проницаемости и капиллярного давления (“масштабирование конечной точки”)
 - 2) Масштабирование относительной проницаемости (“вертикальное масштабирование”)
 - 3) Масштабирование капиллярного давления
- Все функции насыщенности – это своего рода псевдофункции, т.к. все они зависят от масштабирования
- Масштабирование функций насыщенности – это самый простой метод создания псевдофункций.

Гидродинамическое моделирование

Лекция 7 **СЕКЦИЯ REGIONS**

Назначение раздела REGIONS



- Раздел REGIONS необязателен (опционален)
- Раздел REGIONS делит пласт на несколько областей в зависимости от характеристик пласта или целей расчета
- Большинство ключевых слов раздела REGIONS имеют форму XXXNUM
- Для каждого типа области ячейке присваивается номер области от 1 до максимально возможного номера области.
- Несколько ключевых слов XXXNUM не относятся к разделу REGIONS
- Ключевое слово REGDIMS в RUNSPEC используется для установления верхнего предела количества областей.

Назначение раздела REGIONS

Раздел **REGIONS** используется:

- Для назначения особых свойств или характеристик ячейкам или группам ячеек. Свойства задаются таблицами в файлах данных **ECLIPSE**.
- Для составления отчета о начальных запасах флюидов в определенных частях пласта.

К примеру, если пласт содержит три различные нефти, будут представлены три набора таблиц PVT, по одной на область. Предполагается, что таблицы пронумерованы в порядке введения в файл данных. Каждой ячейке сетки присваивается номер от 1 до 3, в зависимости от того, какую таблицу мы используем в этой ячейке. По умолчанию номер области для каждой ячейки равен 1. Этот номер относится как к номеру области, так и к номеру PVT (или PVTNUM – ключевому слову, используемому для задания этих значений в каждой ячейке). Ячейка, которой присвоен номер 1 будет использовать первую таблицу PVT. Тем, которым присвоен номер 2, будут использовать вторую таблицу, и тем, которым присвоен номер 3 - третью. Если существует только одна таблица PVT, не нужно обозначать области PVT, т.к. 1 по умолчанию присваивается каждой ячейке. В этом случае раздел REGIONS не нужен и может быть исключен. Различные типы областей, назначенные для каждой ячейки сети, прикрепляют эту ячейку к различным типам таблиц.

Типы ключевых слов раздела Regions

Определение регионов	XXXNUM e.g. PVTNUM
Вывод в отчет начальных запасов по региону	FIPNUM
Дополнительные области	FIPXXXXX
Ориентированные ключевые слова	KRNUMX/X-/Y/Y-Z/Z-
Операторы	EQUALS, ADD, COPY, BOX, ENDBOX
Контроль вывода	RPTREGS, BOUNDARY, INIT,
RPTSCHED	

Исключения FLUXNUM, RESVNUM, NINENUM, PINCHNUM, которые указываются в секции GRID

- Ключевые слова, определяющие область, используются для назначения для каждой ячейки номера области. Обычно они связаны с таблицей свойств ячейки или группы ячеек
- Количество областей задается в разделе RUNSPEC
- Дополнительно к FIPNUM областям могут быть определены другие области с начальными запасами флюидов. Общее количество областей с начальными запасами флюидов устанавливается с использованием REGDIMS в RUNSPEC.
- Ориентированные ключевые слова используются для анизотропных свойств ячейки, таких как направленная относительная проницаемость

Типы ключевых слов раздела Regions

Ключевые слова, определяющие области

Наиболее часто используются EQLNUM, PVTNUM и SATNUM.

EQLNUM связывает балансирующие регионы с ячейками или группами ячеек.

PVTNUM используется для связи таблиц PVT с определенными ячейками.

Т.к. каждая область PVT содержит флюиды различной плотности, следовательно они должны быть сбалансированы отдельно. Таким образом каждая область PVT должна соотноситься с балансирующей областью, даже если все области PVT имеют одинаковый набор межфлюидных контактов.

Однако наоборот, один набор фаз может иметь различные контакты. Каждый из множества межфлюидных контактов определяется отдельной записью в EQUIL, отделенной прямым слэшем (/). Двойные записи данных межфлюидных контактов могут быть определены по умолчанию после первой записи в EQUIL.

Области с начальными запасами флюидов

Например,
для модели «мертвая» нефть с водой:

PROPS

PVDO

<table 1> /

/

<table 2> /

/

PVTW

<table 1> /

/ table 2 по умолчанию равна table 1

/

RSCONSTT

<table 1> /

/ table 2 по умолчанию равна table 1

/

Количество областей PVTNUM и EQLNUM (в данном случае две)

REGIONS

устанавливается с использованием NTPVT в TABDIMS и NTEQUL в EQLDIMS

PVTNUM

(секция RUNSPEC) соответственно. SATNUM используется для связи функций

SATNUM

насыщения/с ячейками или группами ячеек. Количество областей SATNUM

устанавливается с использованием NTSFUN в TABDIMS.

'PVTNUM' 'EQLNUM' /

/

SOLUTION

EQLNUM

Области с начальными запасами флюидов

Области с начальными запасами флюидов могут определяться с использованием FIPNUM, которое задает целые значения для каждой ячейки текущей области.

Дополнительные области с начальными запасами флюидов могут задаваться с использованием FIPXXXXX.

Области FIPNUM и FIPXXXXX могут частично пересекаться. Общее количество этих областей должно быть задано NTFIP в REGDIMS раздела RUNPSEC.

К примеру, рассмотрим модель $20 \times 5 \times 10$. Области от $I=1$ до 10 и от $I=11$ до 20 являются отдельными блоками, ограниченными сбросами, о начальных запасах флюидов которых необходимо составить отдельные отчеты, также необходимо составить отчеты о начальных запасах флюидов в каждом слое. Эти области будут

В разделе **RUNPSEC**
определены так:

```
--NTFIP NMFIPR  
10 2 /
```

И в разделе **REGIONS**

EQUALS

```
--Array Value I1 I2  
'FIPNUM' 1 /  
'FIPNUM' 2 11 20 /  
/
```

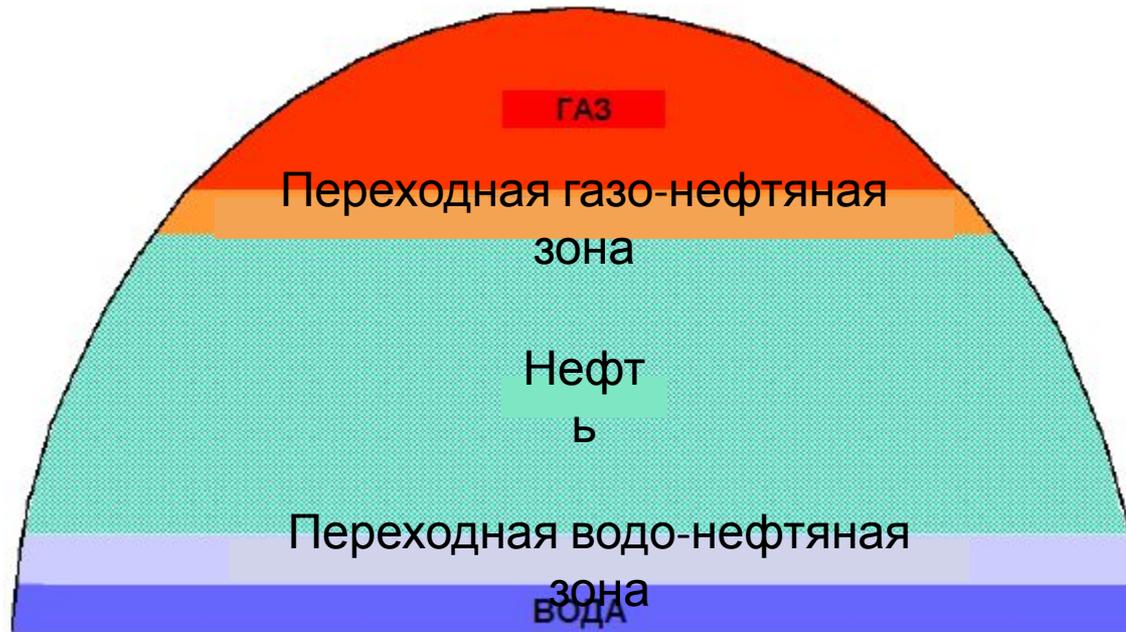
FIPLAYER

```
--Fiplayer - FIPXXXXX
```

Гидродинамическое моделирование

Лекция 8 **СЕКЦИЯ SOLUTION**

Области с начальными запасами флюидов



- Раздел SOLUTION определяет начальные условия моделирования
- Начальные условия могут быть определены путем балансировки, перечисления или перезапуска (restart)
- Аналитические подошвенные воды задаются в разделе SOLUTION
- Данные раздела SOLUTION могут быть введены в файлах PRT и файлах перезапуска

Назначение раздела SOLUTION

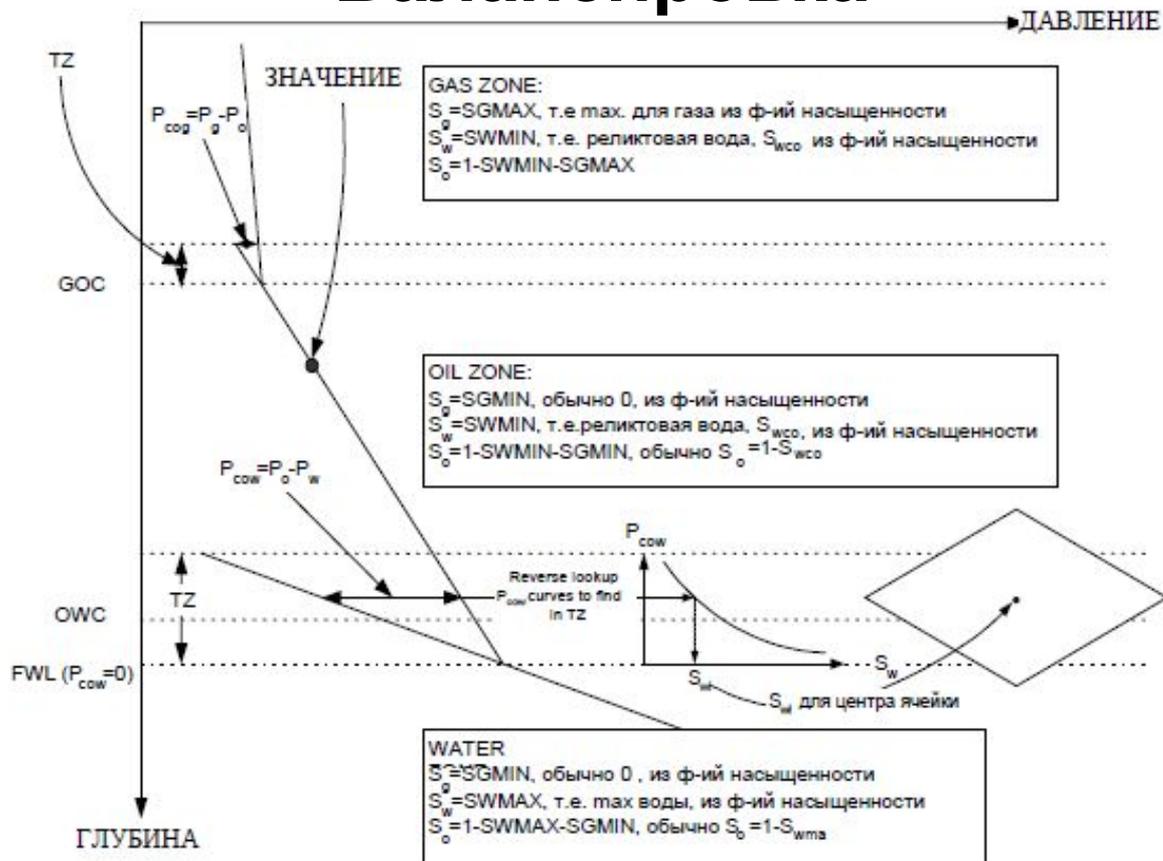
Раздел SOLUTION определяет начальные условия моделирования. Такие как:

- начальное давление и фазовое насыщение для каждой ячейки сети
- начальные соотношения растворов, такие как соотношения газ/нефть и/или нефть/газ для каждой ячейки
- зависимость свойств пластовых флюидов
- степени растворения нефти и газа
- начальные аналитические условия подошвенных вод

Способ определения зависит от того, выбрана балансировка, перечисление или перезапуск.

Мы рассмотрим балансировку и перечисление.

Балансировка



- При балансировке определяются контакты и данные давления и глубины
- Предполагается гидростатическая балансировка
- Балансировка подходит для изначально неразбуренного пласта с плоскими контактами
- Там может быть входной уровень капиллярного давления
- EOS темной нефти используется для расчета гидростатического давления каждой фазы
- Фазовое насыщение в каждой зоне берется из функции насыщения в разделе PROPS

Балансировка

Опция балансировки для установки начальных давлений и насыщений основана на функциях насыщения, контактах флюидов и данных о глубине и давлении.

Если давление известно на какой-либо глубине в нефтяной зоне, уравнение состояния темной нефти д

$$\rho_o^{(r)} = \frac{\rho_o^{(s)} + R_g \rho_g^{(s)}}{B_o}$$

и гидростатическое давление нефтяной фазы $P_o(h_2) = P_o(h_1) + \int_{h_1}^{h_2} \rho_o g dh$

Здесь (r) и (s) определяют пластовые и поверхностные условия, соответственно,

ρ_o – плотность нефти, ρ_g – плотность газа. Задав контакты флюидов, можно решить уравнение состояния для газа и воды схожим образом, определив начальное гидростатическое давление каждой фазы в любом месте пласта на момент добычи. На практике, **ECLIPSE** рассчитывает фазовое давление на 100 глубинах, равномерно распределенных по пласту. Это может быть изменено, путем перенастройки **NDPRVD** в ключевом слове **EQLDIMS** раздела **RUNPSEC**

Начальная фаза насыщения

Если начальное давление рассчитано, ECLIPSE задает фазовое насыщение в каждой зоне. Это не относится к переходным зонам, которые рассматриваются ниже. Фазовое насыщение берется из граничного насыщения, определенного функциями насыщения в разделе PROPS, а нефтяное насыщение рассчитывается на основе насыщения воды и газа. Поэтому:

- В газовой зоне S_g максимально. Это SGU , наибольшее газонасыщение во вводимой функции газового насыщения. Sw минимально, SWL , наименьшее значение водонасыщенности во вводимой таблице функций насыщения воды, т. е. начальное или минимальное водяное насыщение $Swco$. Нефтяное насыщение: $S_o = 1 - SGU - SWL$.
- В водяной зоне Sw максимально. Это SWU , наибольшее водонасыщение во вводимой функции водяного насыщения. Часто это значение равно 1. S_g минимально, SGL , наименьшее значение газового насыщения во вводимой таблице функций насыщения газа, т. е. начальное газовое насыщение S_{gco} . Оно обычно нулевое. Нефтяное насыщение $S_o = 1 - SWU - SGL$. Обычно $S_o = 1 - Swco$.
- В нефтяной зоне, значения воды и газа минимальны. $S_g = SGL = S_{gco}$ и $Sw = SWL = Swco$. Нефтяное насыщение $S_o = 1 - SWL - SGL$. Обычно, $S_o = 1 - Swco$.

Начальное фазовое насыщение в переходной зоне

В переходной зоне фазовое насыщение зависит от капиллярного давления.

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

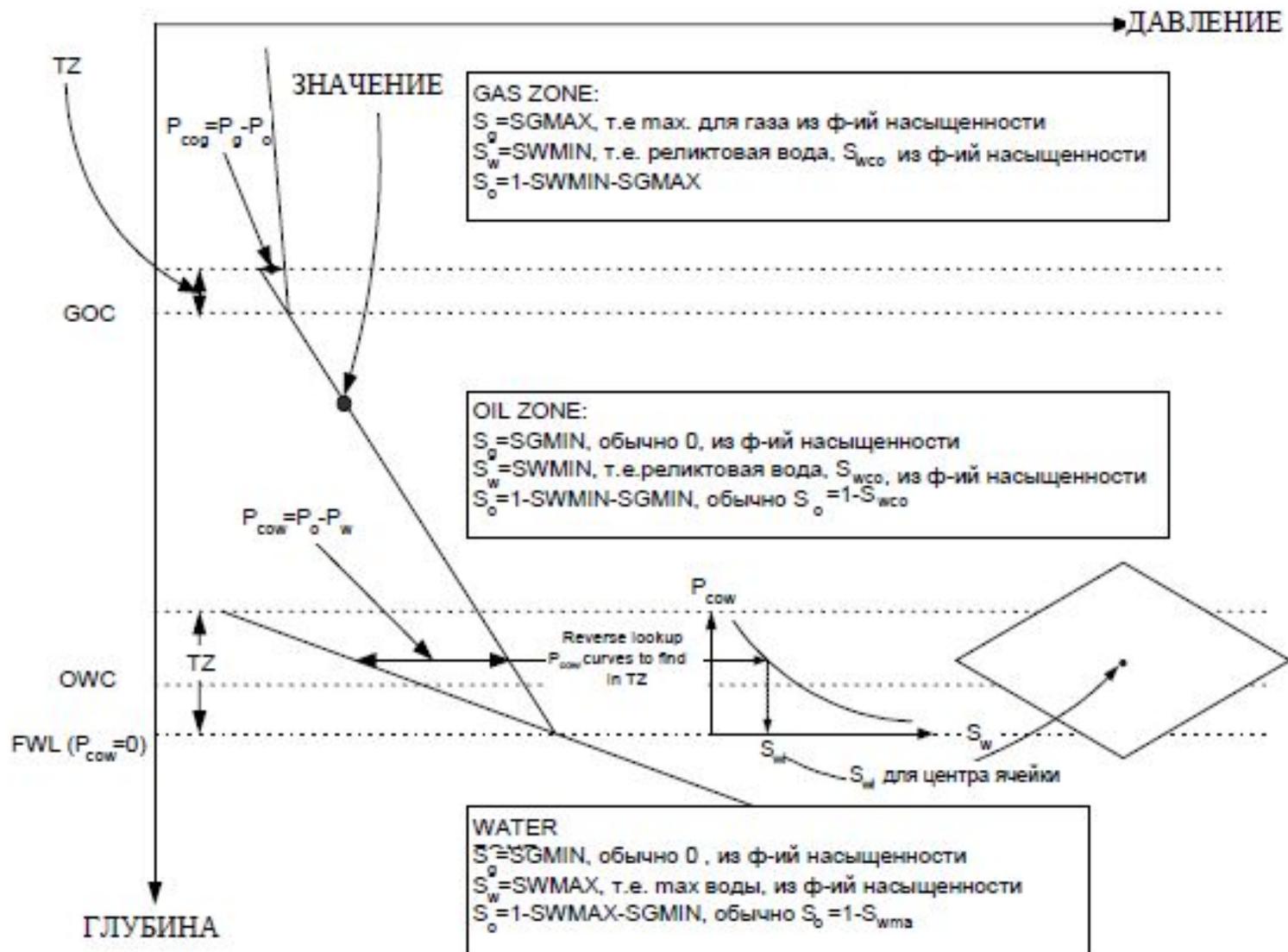
и

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

Которое может быть легко подсчитано на любой глубине, как разница между гидростатическим давлением фаз. **ECLIPSE затем использует обратный просмотр** кривых капиллярного давления в водимых функциях насыщения для определения переходных зон насыщения газа и воды. Теоретически, кривая капиллярного давления воды при $P_{cow} \rightarrow \infty$ стремится к $S_w = 0$. На практике, кривая капиллярного давления должна заканчиваться в S_{wco} для уверенности, что у нее нет разрыва в S_w при наименьшем водяном насыщении в функции насыщения.

Рассмотрим наклонную ячейку, пересекающуюся с водо-нефтяным контактом. Насыщение ячейки задается путем расчета глубины центра ячейки и задания начальных S_{oi} , S_{wi} и S_{gi} для центра ячейки, как показано на рисунке. Этот метод позволяет достичь стабильного начального решения, в котором фазовое насыщение согласуется с гидростатическим давлением. Этот метод известен как центроблоковая балансировка.

Начальное фазовое насыщение в переходной зоне



Начальное фазовое насыщение в переходной зоне

- In 3-phase and oil/water runs, EQUIL parameters are:

```
EQUIL
--1      2      3      4      5      6
--Datum  Pressure OWC    Pcow   GOC    Pcog
--Depth  @ Datum  depth @ OWC  Depth  @ GOC

--7
--Rs vs Depth      8      9
--or Pb vs depth   Rv vs depth Accuracy
--table index      or Pd vs depth option
                  table index  -10<=N<=10
```

- In gas-water runs, EQUIL parameters are:

```
EQUIL
--1      2      3      4      5      6
--Datum  Pressure GOC    Pcog   Not    Not
--Depth  @ Datum  depth @ GOC  Used   Used

--7
--Rs vs Depth      8      9
--or Pb vs depth   Rv vs depth Accuracy
--table index      or Pd vs depth option
--doesn't apply    table index  -10<=N<=10
```

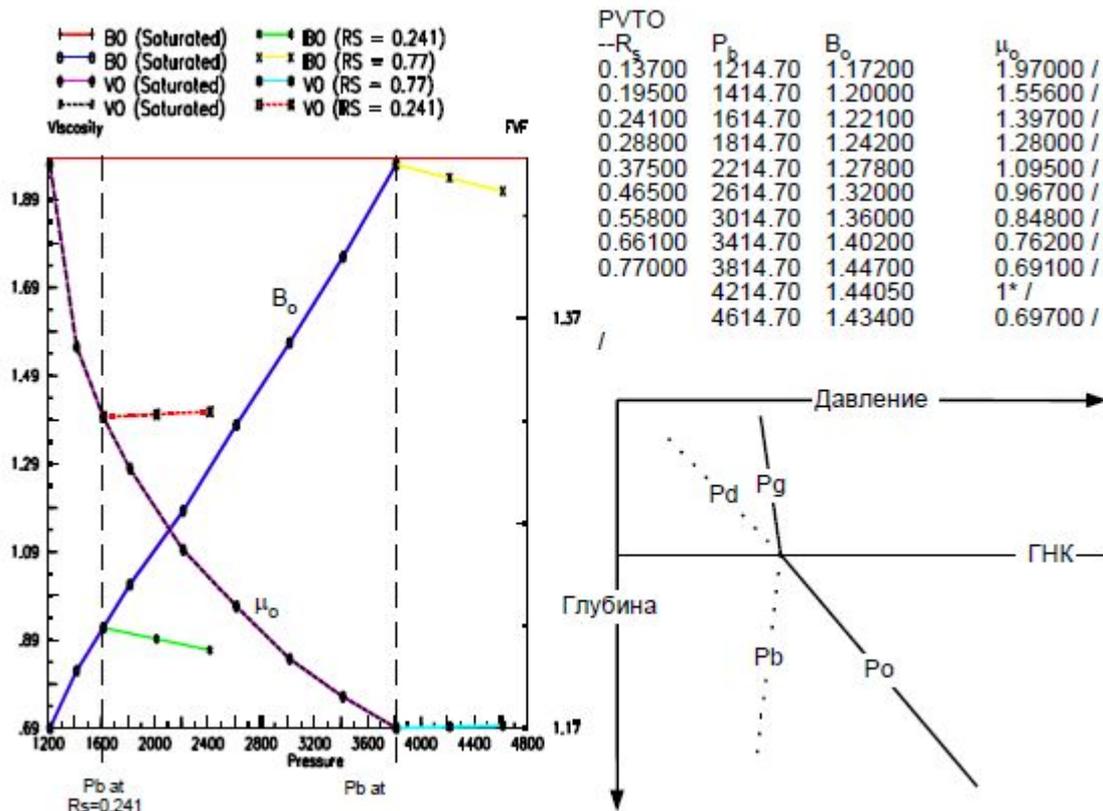
- В двухфазной модели вода-нефть или газ-вода газо-нефтяной контакт (GOC) игнорируется
- В двухфазной модели нефть-газ водо-нефтяной контакт (OWC) игнорируется
- В конденсатной модели, изначально выше точки росы, OWC должно быть установлено на той же глубине, что и GOC
- Если имеется только свободный газ с испаренной нефтью, GOC может находиться ниже подошвы месторождения
- При отсутствии подвижной воды изначально OWC может находиться ниже подошвы месторождения

Перечисление

Комбинации фаз	Ключевые слова
OIL, GAS, DISGAS, WATER	PRESSURE, SWAT, SGAS, RS
OIL, GAS, DISGAS	PRESSURE, SGAS, RS
OIL, WATER	PRESSURE, SWAT
OIL, GAS	PRESSURE, SGAS
GAS, OIL, VAPOIL	PRESSURE, SGAS, RV
GAS, OIL, VAPOIL, WATER	PRESSURE, SGAS, SWAT, RV
GAS, WATER	PRESSURE, SGAS, SWAT
OIL, GAS, VAPOIL, WATER	PRESSURE, SGAS, SWAT, RV
OIL	PRESSURE
GAS	PRESSURE, SGAS
WATER	PRESSURE, SWAT

- Начальные условия могут быть заданы явно
- Начальное давление должно быть установлено для каждой ячейки
- Начальное насыщение каждой фазы, кроме нефтяной, должно быть установлено для каждой ячейки
- Начальные соотношения растворов (R_s и/или R_v) должны быть определены в каждой ячейке
- Капиллярное давление и фазовое насыщение должны быть согласованы для обеспечения стабильных начальных условий
- Все остальные существенные количественные признаки растворов, такие как концентрация трассеров, должны быть также определены
- Перечисление может применяться в пластах с изначально наклонными контактами или несбалансированных

Начальное соотношение растворов



- Концентрация растворенного в нефти газа, R_s или ее изменения с глубиной, т.е. R_s или $RSVD$
- Концентрация испаренной нефти, R_v или ее изменения с глубиной, т.е. R_v или $RVVD$
- Изменения с глубиной точки насыщения и/или точки росы, т.е. P_{BV} и/или P_{DV}

Начальное соотношение растворов

Начальное соотношение растворов требуется как часть уравнения состояния нефтяной и газовой фаз. Без этого невозможен расчет плотности. Они могут быть определены или для каждой ячейки, или с использованием одного из двух соотношений:

RS, отношения растворенный газ/нефть

RV, отношения испаренная нефть/газ

Ту же информацию можно ввести как функцию глубины, с использованием RSVD и/или RVVD. Это таблицы зависимости отношений растворенный газ/нефть и испаренная нефть/газ от глубины. Одна или обе из них необходимы для каждой сбалансированной области.

В качестве альтернативы RSVD и RVVD изменения точки насыщения и точки росы с глубиной могут быть заданы с использованием PBVD и PDVD. Одна или обе из них необходимы для каждой сбалансированной области.

ВНИМАНИЕ Если RSVD или PBVD не определены в модели, в которой они применяются, первым пунктом данных глубины в EQUIL должна быть глубина GOC. В этом случае недонасыщенному GOR присваивается значение насыщения GOC из таблиц интерполяции PVT.

ВНИМАНИЕ Если RVVD or PDVD не определены в модели, в которой они применяются, первым пунктом данных глубины в EQUIL должна быть глубина GOC. В этом случае недонасыщенному GOR присваивается значение насыщения GOC из таблиц интерполяции PVT