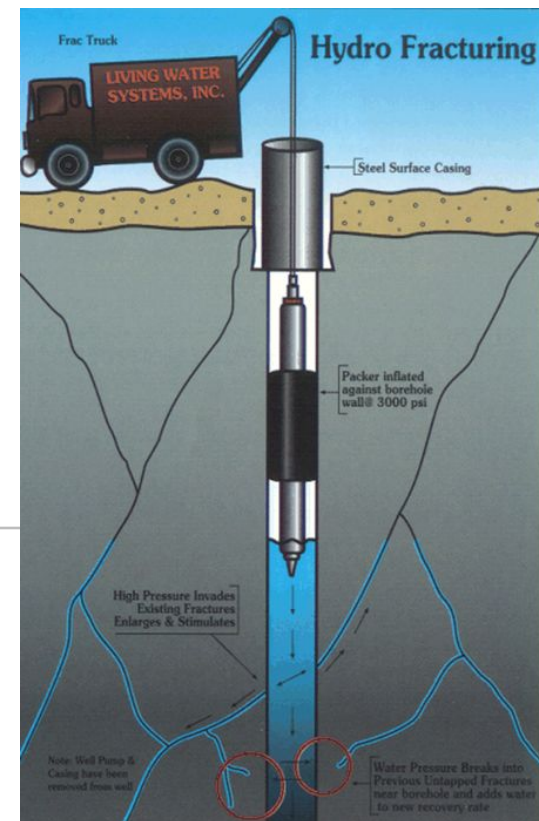


Раздел 5. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта

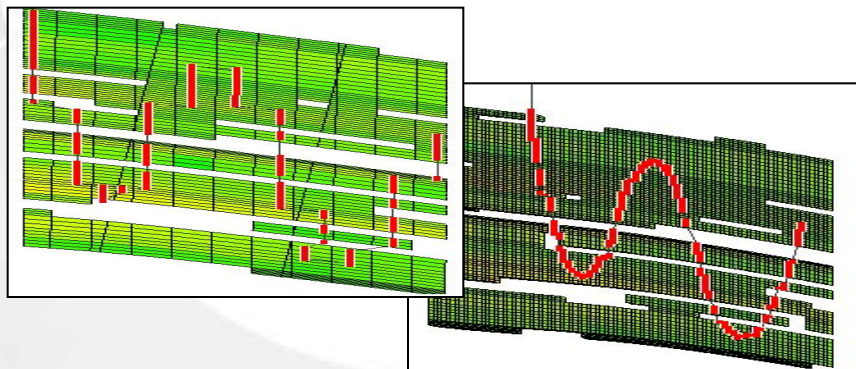
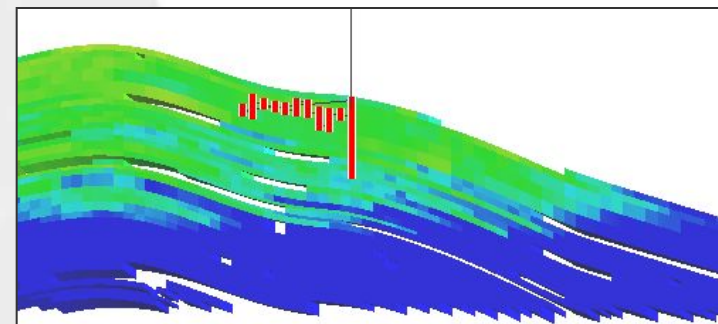
Тема ЛЕКЦИЯ 18 (5.1) ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРП

Учебные вопросы лекции:

1. Основные представления о механизме гидравлического разрыва пласта
2. Технологии ГРП

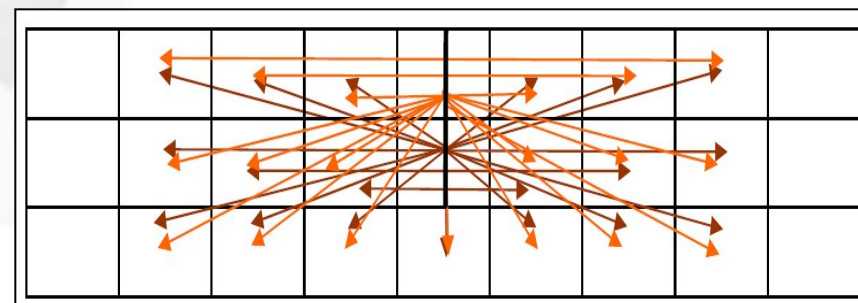


- Увеличение сообщаемости WI (Well Index) между скважиной и вскрытой ячейкой
- Уменьшение скин-фактора (S)
- Увеличение эквивалентного радиуса
- Фиктивный вертикальный ствол



- Локальное измельчение сетки
- Динамическое изменение коллекторских свойств в ПЗ зоне

- Ввод несоседних соединений для ячеек, вскрытых трещиной
- Использование технологии Well fraction (WFRA)



INITIALIZATION



SIMULATION



WELL & COMPLETION



PRODUCTION & PROCESS

Условия применимости:

- Скважины вертикальные, перфорация вскрывает большую часть пласта
- Отсутствие слабодренлируемых зон, которые могут быть затронуты трещиной
- Латеральный размер ячеек модели сравним с длиной трещины

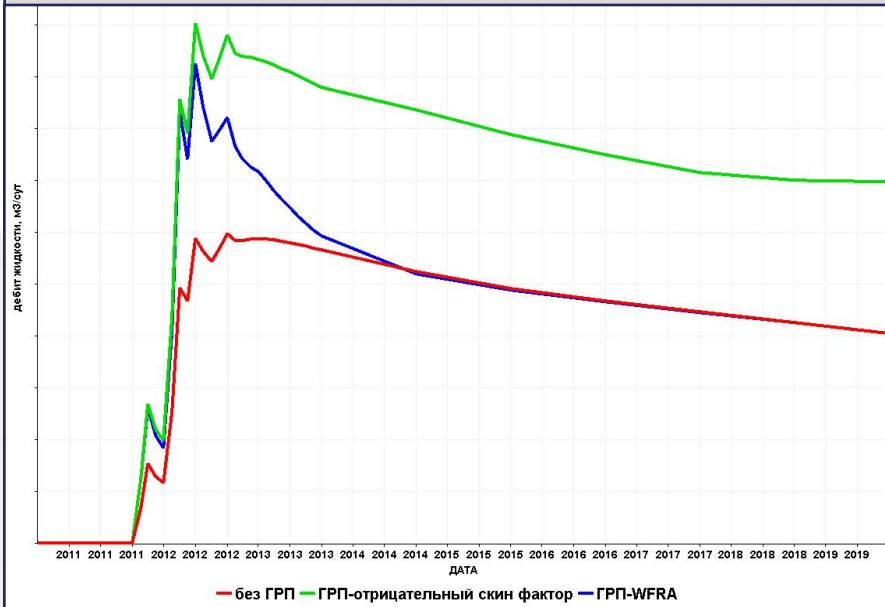
Недостатки:

- Не учитывает геометрические и фильтрационные параметры трещины
- Не описывает вскрытие новых продуктивных участков в сложных расчлененных и неоднородных пластах
- Затруднительно смоделировать прорыв воды от нагнетательных скважин по трещине ГРП
- Затруднительно описать процесс «затухания» эффекта ГРП во времени



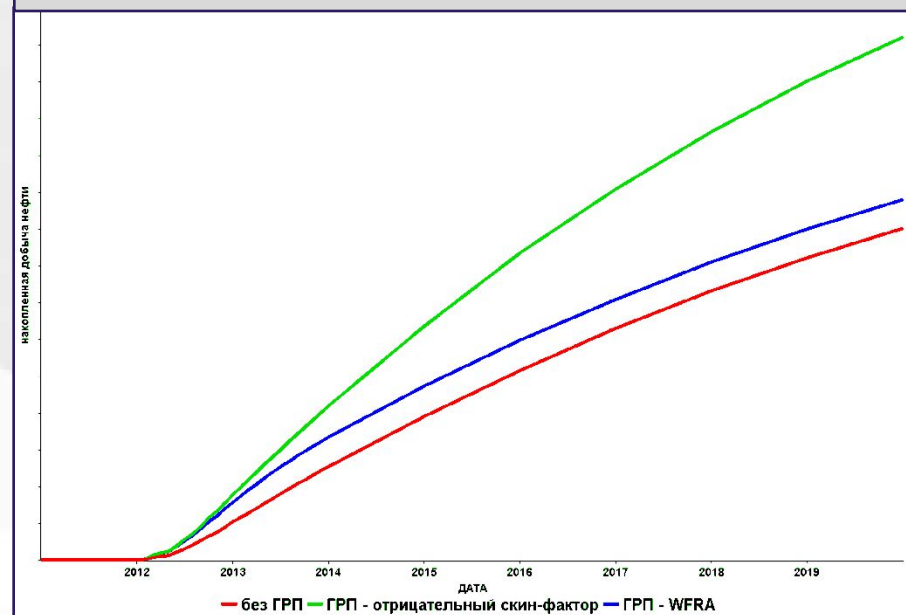
Проводилось моделирование ГРП на модели одного из месторождений методом снижения скин-фактора а также при помощи WFRA.

Дебит жидкости, м3/сут



- Средний входной дебит жидкости после ГРП воспроизведены одинаково
- Накопленная добыча нефти гораздо выше у метода отрицательного скин-фактора.

Накопленная добыча нефти, тыс. т



Вывод:

Ошибочное воспроизведение динамики дебита жидкости может привести к завышению прогнозного уровня добычи до 30 %



CCF – Completion Connection Factor (сообщаемость)

Сообщаемость ячейка>>трещина>>скважина складывается из 2х составляющих:

$$ccf = \frac{1}{\frac{1}{ccf_1} + \frac{1}{ccf_2}}$$

ccf_1 – Сообщаемость ячейка>>трещина

ccf_2 – Сообщаемость трещина>>скважина

Сообщаемость трещина>>скважина в ячейке, содержащей скважину стремится к бесконечности.



Сообщаемость ячейка>>трещина:

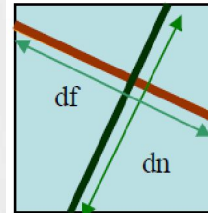
$$ccf_1 = C \cdot 8 \cdot permCell \cdot df \cdot \frac{dz}{dn}$$

$C=0.00852702$ – константа Дарси;

$permCell$ – среднеквадратичная проницаемость от KX и KY, спроецированных на нормаль к плоскости трещины;

dz – толщина ячейки;

dn – расстояние в ячейке в направлении, перпендикулярном к плоскости трещины, т.е., сколько флюид должен протечь, чтобы достичь трещины.



INITIAL DATA



SIMULATION



WELL & COMPLETION



PRODUCTION & PROCESS

Расположение: Секция **RECU**rent

WFRA *wellname angle kl ku length perm width cond tau type mdl mdu...*
*...[**LAYE** ll lu | **DEPT** dl du] **OTHER**[length] **BEND**[angle]*

wellname - имя скважины.

Описание синтаксиса

стр. 23

LAYE, DEPT, OTHER, BEND – новые опции, введенные в версии 6.7.



angle – угол направления трещины в плоскости XY [град]

length – полудлина трещины [футы | метры]

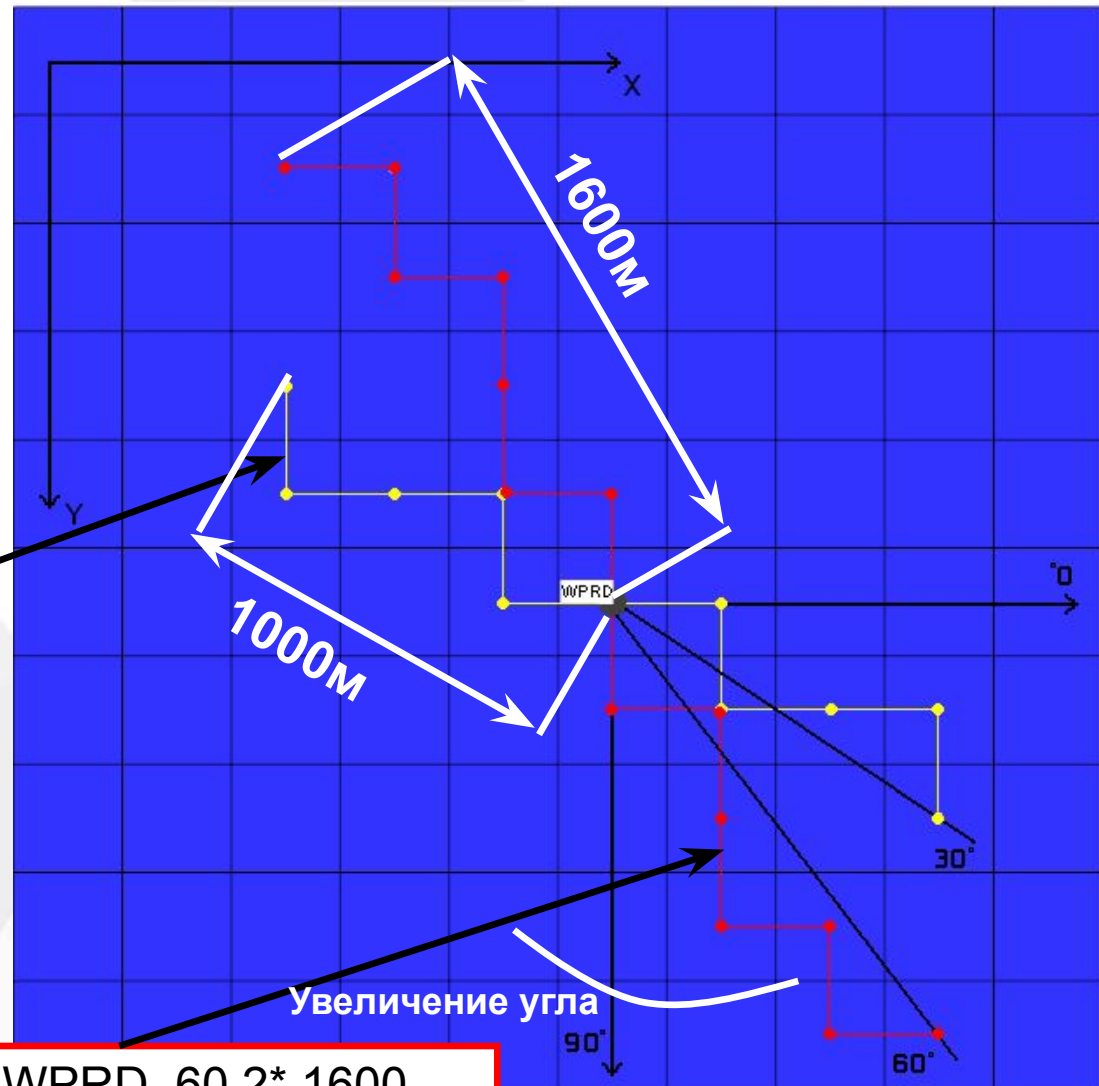
Траектория трещины привязывается к центрам ячеек.

WFRA WPRD 30 2* 1000 ...

Чем больше длина, тем выше множитель сообщаемости.

Изменение угла приводит к изменению длины трещины в ячейке, и, как следствие, к изменению множителя сообщаемости.

WFRA WPRD 60 2* 1600 ...



INITIALIZATION



SIMULATION



WELL & COMPLETION

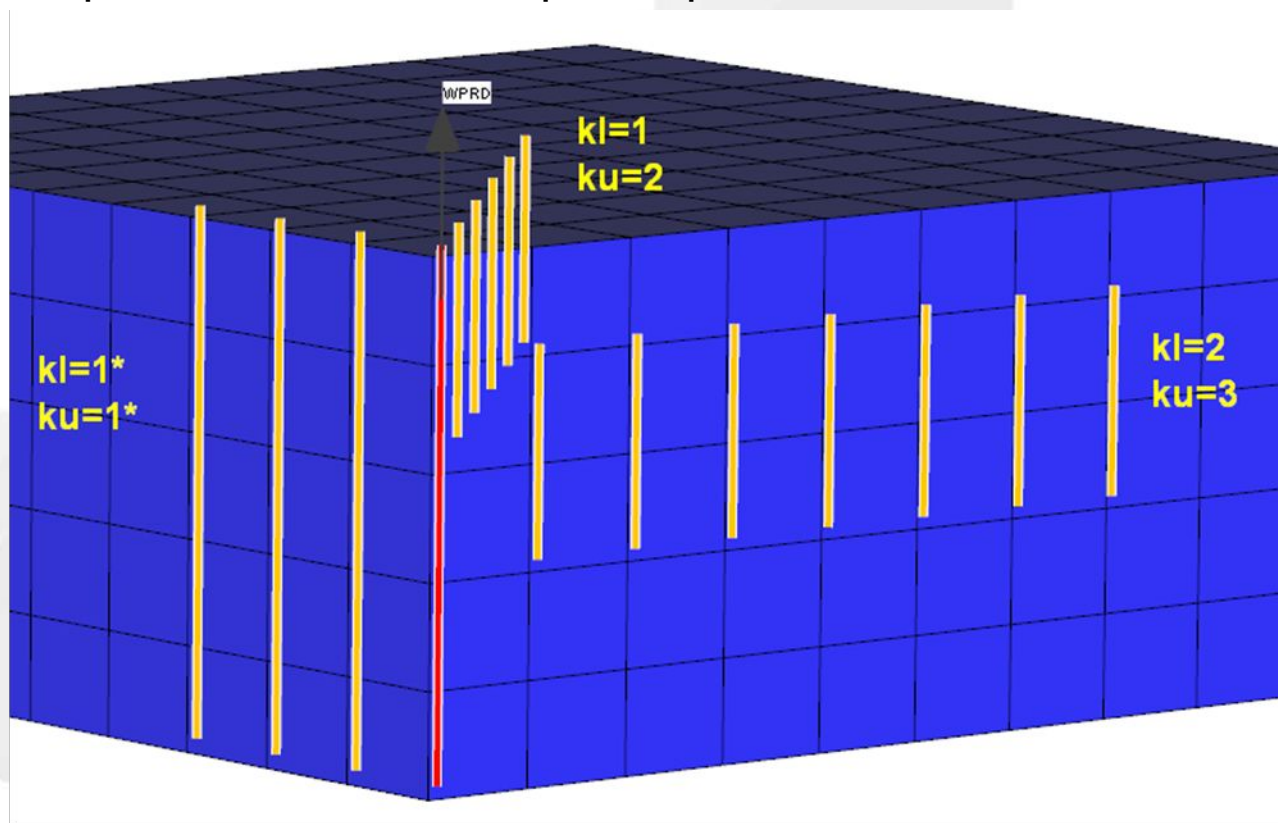


PRODUCTION & PROCESS

k_l – первый слой, содержащий трещину (по умолчанию: первый слой, содержащий перфорацию);

k_u – последний слой, содержащий трещину (по умолчанию: последний слой, содержащий перфорацию).

Эти параметры отвечают за интервал проведения ГРП



Параметры трещины:

perm – проницаемость трещины, [мД];

width – ширина трещины, [м];

cond – проводимость трещины, [мД*м].

$$\text{cond} = \text{perm} * \text{width}$$

Если задана проводимость, то проницаемость и ширину можно не задавать и наоборот.



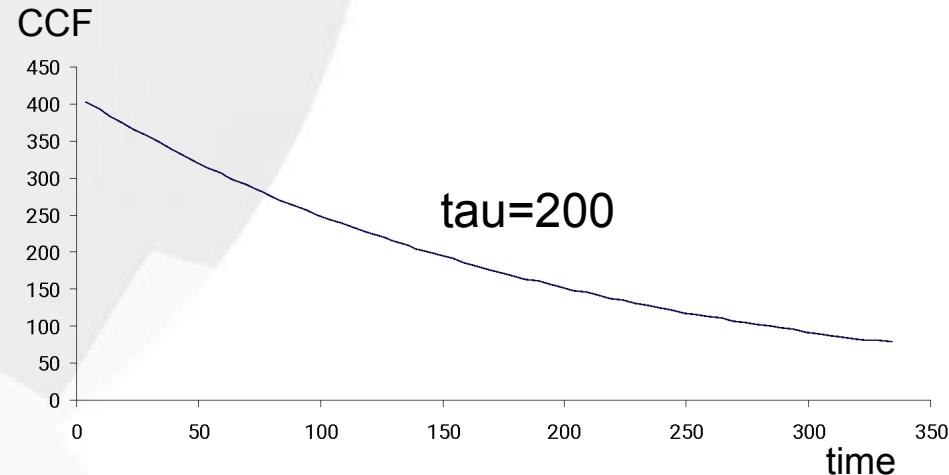
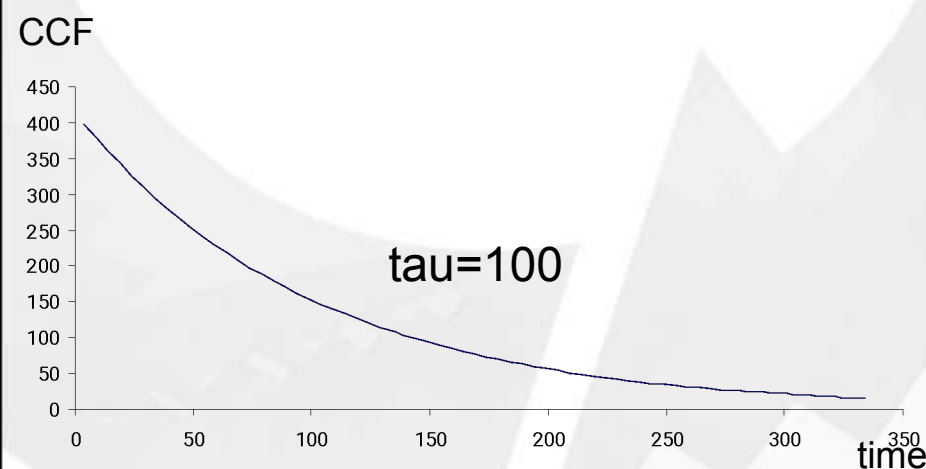
tau – постоянная времени затухания трещины.

Изменение множителя сообщаемости происходит по экспоненциальному закону:

$$CCF = CCF_0 \cdot e^{-\frac{time}{tau}}$$

CCF_0 – начальный множитель сообщаемости
time - время

Физический смысл: за время tau множитель сообщаемости уменьшится в $e=2.71$ раз.



Как видно из графиков, при прочих равных скорость уменьшения CCF разная. Если не задать tau, то эффект ГРП не затухает, т.е. CCF не изменяется.



Параметры используются для задания ГРП на горизонтальных участках скважин. На данном этапе развития Tempest функционал этих параметров реализован не полностью.

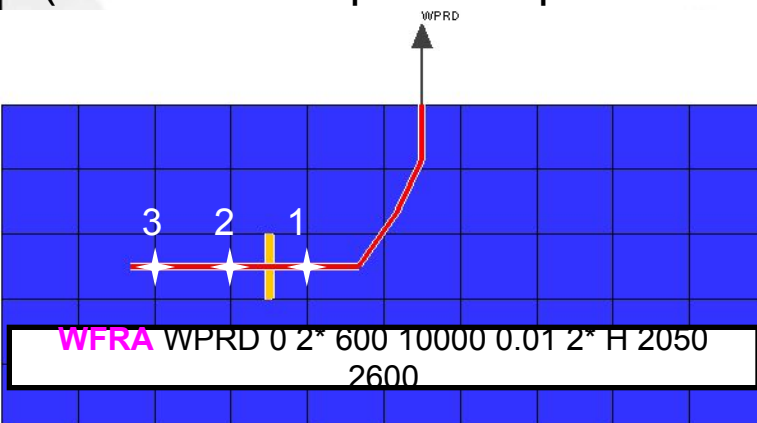
mdl – нижняя отметка глубины горизонтальной продольной трещины [метры];

mdu – верхняя отметка глубины горизонтальной продольной трещины [метры].

type – тип трещины: V – вертикальная,

H – горизонтальная.

При использовании H Tempest смоделирует трещину в первой вскрытой ячейке* (и только в первой вскрытой ячейке), расположенной в указанном интервале MD.



MD точек:

1 – 2019,9

2 – 2319,9

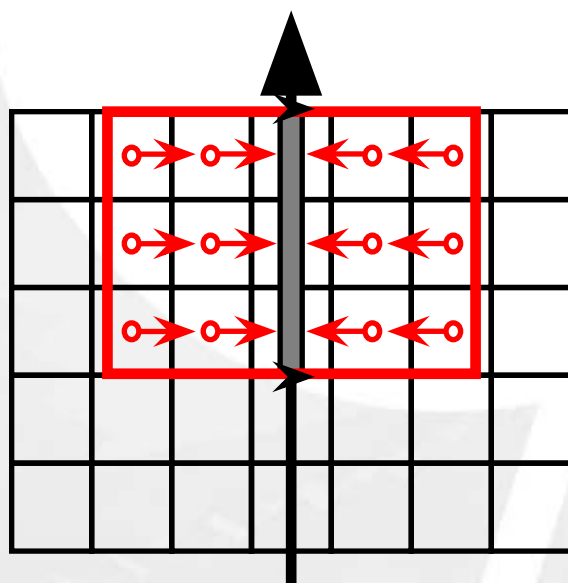
3 – 2619,9

* Если начало MD интервала (**mdl**) находится между точками 1 и 2 и меньше MD=2169.9 ($[MD_1 + MD_2]/2$), то ГРП смоделируется в этой ячейке (левый рисунок). Если **mdl** больше, чем MD=2169.9, то ГРП смоделируется в следующей ячейке. Принцип расчета сообщаемости такой же, как и для вертикальной скважины. Значение **mdu** не влияет на моделируемый ГРП. Значение **mdl** должно быть больше чем mdl интервала перфорации.



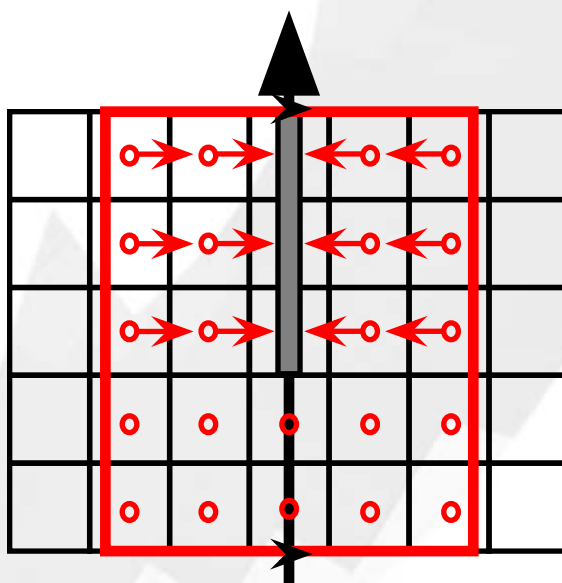
Применяются для создания связи с определенным диапазоном слоев или глубин

ГРП охватывает только с 1^{го} по 3^{ий} слою

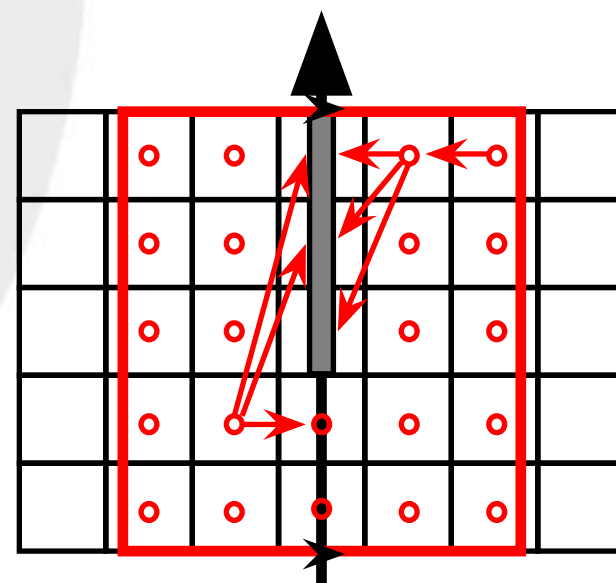


WFRA PRD 0 1 3 100
100000 0.01 /

ГРП охватывает все
слои



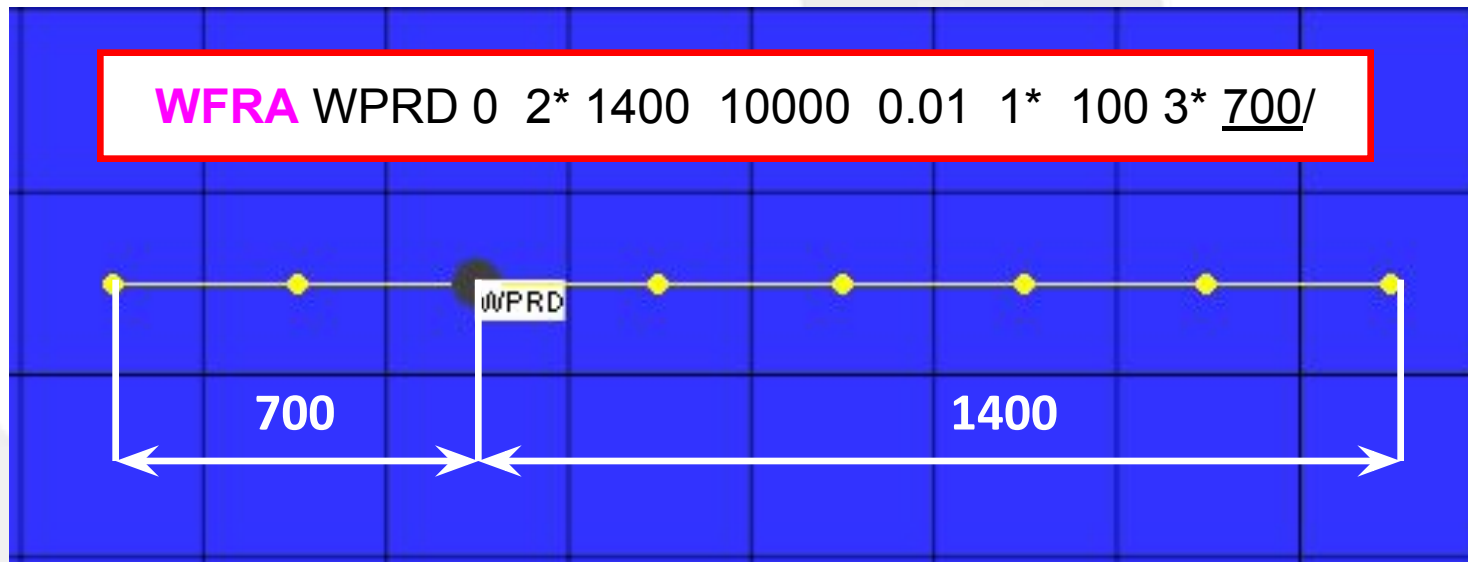
WFRA PRD 0 1 5 100
100000 0.01 /



WFRA PRD 0 1 3 100
100000 0.01 5* LAYE 1 5/



Создание асимметричных трещин: изменение длины одного из отрезков.
Вводится необходимая длина отрезка. При задании длины трещины, равной 0, ГРП будет симметричным



Вводить название опции (OTHER) не нужно



Создание асимметричных трещин: изменение угла одного из отрезков

Вводится значение угла отклонения трещины от заданного направления. Угол увеличивается в положительном направлении и может принимать любые значения

WFRA WPRD 45 2* 1600 10000
0.01 1* 100 3* 800 30/



Вводить название опции (BEND) не нужно.

В опциях **BEND** и **OTHER** изменяется один и тот же отрезок трещины. Если необходимо модифицировать другой отрезок, то к углу ГРП +180 радиусов.



Date **WFRA** *angle kl ku length perm width cond tau mdl mdu type [LAYE ll lu | DEPT dl du] [OTHER length] [BEND angle]*

Отличия по сравнению со старым форматом:

Описание
синтаксиса

стр. 24

- Тип трещины (type) указывается после задания mdl и mdu.
- Необходимо прописывать названия опций OTHER и BEND.

Позиция последних трех опций не важна в записи события. Программа считывает ключевое слово, относящееся к опции, а затем ожидает данные. Т.е.:

01/Jan/2003 **WFRA** 0 1 5 600 10000 0.01 1* 100 3* OTHER 300 LAYE 1 7

=

01/Jan/2003 **WFRA** 0 1 5 600 10000 0.01 1* 100 3* LAYE 1 7 OTHER 300



В старом формате:

	--wellname	angle	kl	ku	length	perm	width	tau
--	------------	-------	----	----	--------	------	-------	-----

WFRA	WPRD	45	1	7	1600	10000	0.01	1* 100
------	------	----	---	---	------	-------	------	--------

	--wellname	angle	kl	ku	length	perm	width	other	bend
--	------------	-------	----	----	--------	------	-------	-------	------

WFRA	WPRD	90	2*		1600	10000	0.01	5*	800 30/
------	------	----	----	--	------	-------	------	----	---------

В формате событий:

WPRD

	--angle	length	perm	width	tau
--	---------	--------	------	-------	-----

01/Jan/2000	WFRA	135	2*	1000	10000	0.01	1* 100 /
-------------	------	-----	----	------	-------	------	----------

01/Jan/2001	WFRA	135	2*	2000	10000	0.01	1* 100 /
-------------	------	-----	----	------	-------	------	----------

01/Jan/2002	WFRA	135	2*	1000	20000	0.01	1* 100 /
-------------	------	-----	----	------	-------	------	----------

01/Jan/2003	WFRA	135	2*	2000	20000	0.01	1* 100 /
-------------	------	-----	----	------	-------	------	----------

	--angle	kl	ku	length	perm	width	tau	other	layer
--	---------	----	----	--------	------	-------	-----	-------	-------

WPRD 01/Jan/2003	WFRA	0	1	5	600	10000	0.01	1* 100 3*	other 300 laye 1 7
------------------	------	---	---	---	-----	-------	------	-----------	--------------------



В Tempest (как в старом формате, так и в формате событий) можно реализовать поинтервальный гидроразрыв.

Задается несколько ГРП по числу интервалов.

Пример:

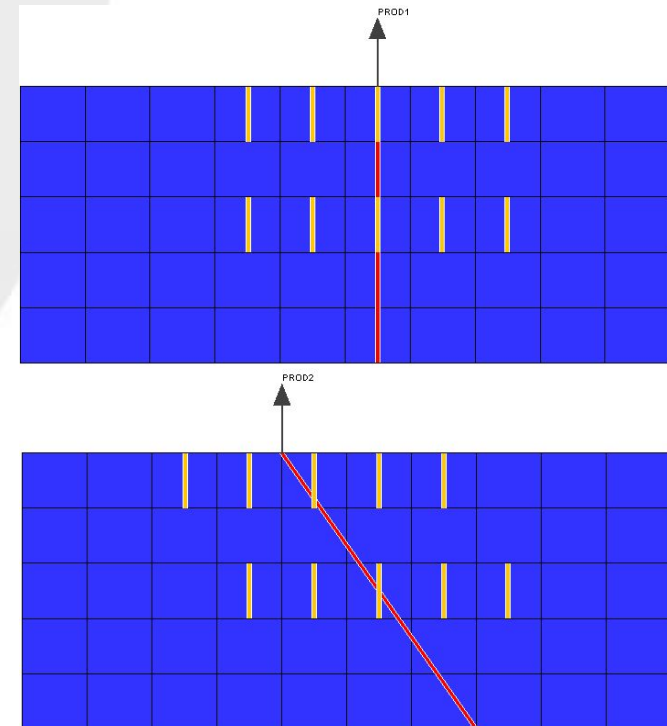
Задание двух интервалов проведения ГРП

PROD1

01/Jan/2001	WFRA	90	1	1	600	10000	0.01	1*	100
01/Jan/2001	WFRA	90	3	3	600	10000	0.01	1*	100

PROD2

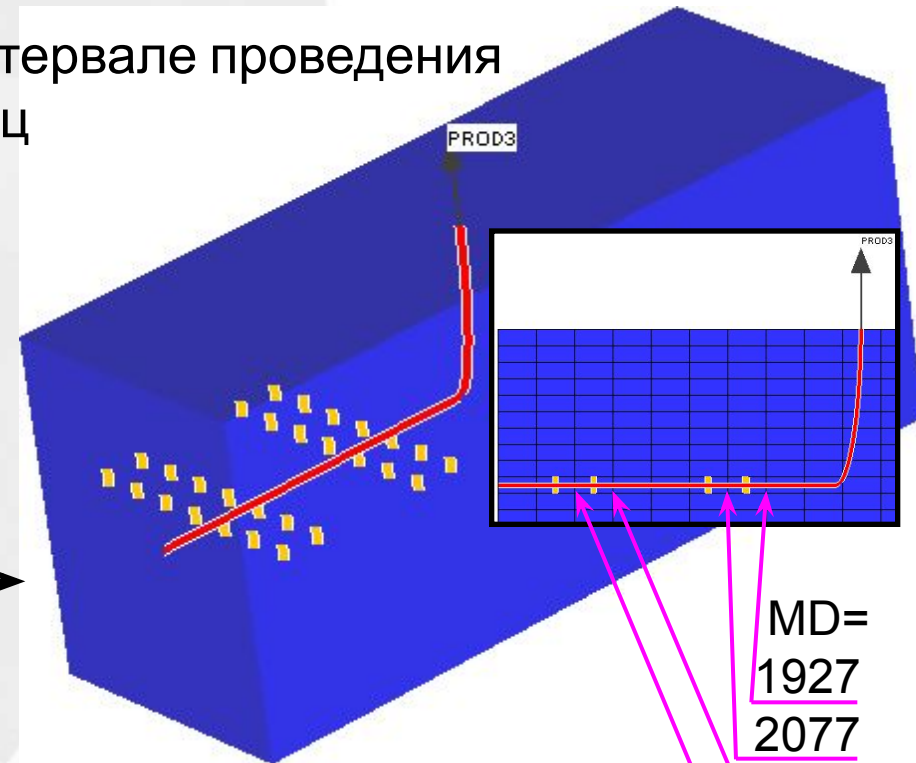
01/Jan/2001	WFRA	90	1	1	600	10000	0.01	1*	100
01/Jan/2001	WFRA	90	3	3	600	10000	0.01	1*	100



Смоделировать поинтервальный ГРП на горизонтальном участке скважины также возможно:

1. Определяем количество ячеек в интервале проведения ГРП а также точки пересечения границ этих ячеек и скважины.
2. Задаем ГРП для каждой ячейки

Модель 20x20x20, гидроразрыв задан с 1 по 4 и с 9 по 12 слою.



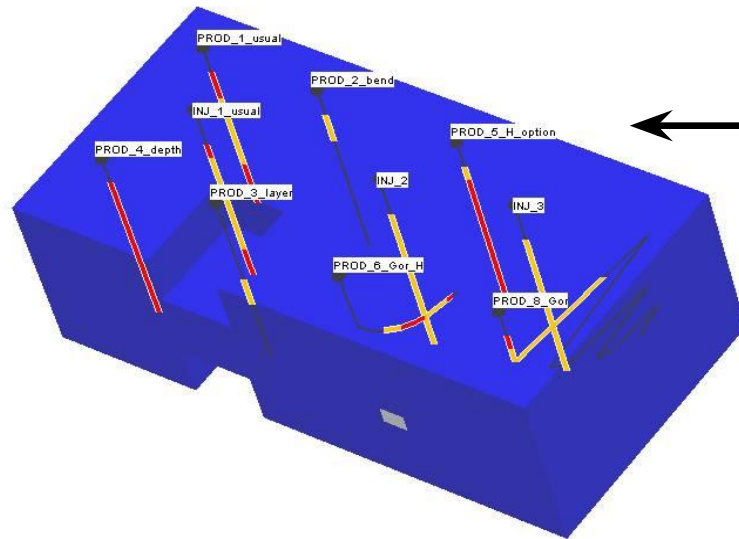
MD=
1927
2077
2527
2677

PROD3

01/Jan/2002	WFRA	0	2*	600	10000	0.01	1*	100	1927	5000	H
01/Jan/2002	WFRA	0	2*	600	10000	0.01	1*	100	2077	5000	H
01/Jan/2002	WFRA	0	2*	600	10000	0.01	1*	100	2527	5000	H
01/Jan/2002	WFRA	0	2*	600	10000	0.01	1*	100	2677	5000	H



Опция COMP ключевого слова RATE сокращает объем выходных файлов.

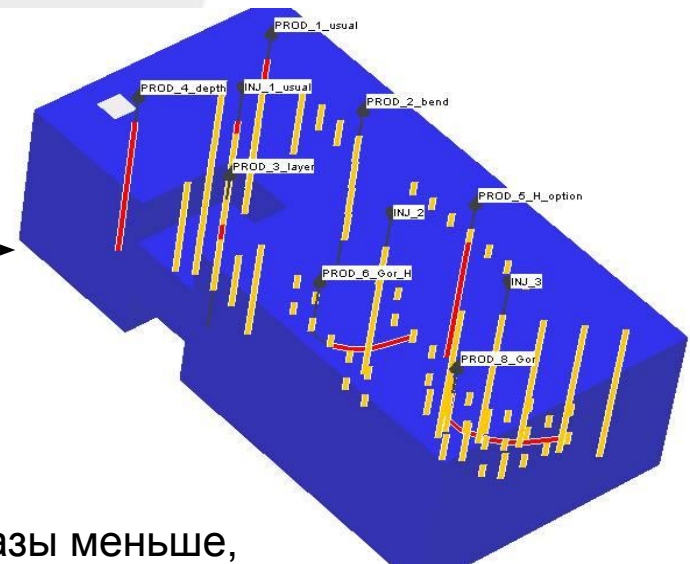


С опцией COMP:

при моделировании ГРП программа запишет лишь информацию об интервале проведения.

Без опции COMP:

в выходные файлы дополнительно записывается информация о ячейках, содержащих трещину.



Размер *.rat – файла с опцией COMP может быть в разы меньше, чем без ее использования. Все зависит от количества ячеек, содержащих трещину. Если трещины не выходят за пределы ячеек, в которых находится скважина, то размеры *.rat – файлов с COMP и без одинаковы.



- Невозможно задать ГРП на боковом стволе многозабойной скважины.
- ГРП можно задать только на проперфорированных участках скважины.
- Если закрывается интервал перфорации, то связь этого интервала с трещинами прекращается.
- На одном и том же интервале возможно задавать несколько ГРП в разных направлениях



WFRA *wellname angle kl ku length perm width cond tau type mdl mdu...*
...**[LAYE ll lu | DEPT dl du] OTHER[length] BEND[angle]**

wellname – имя скважины;

angle – угол между трещиной и положительным направлением оси x;

kl ku – верхняя и нижняя границы интервала проведения ГРП;

length – полудлина трещины;

perm – проницаемость трещины;

width – ширина трещины;

cond – проводимость трещины (если заданы *perm* и *width*, то *cond* не задаем);

tau – временная константа;

type – тип трещины;

mdl mdu – интервал трещины в отметках md;

LAYE ll lu – задаем связь трещин с заданным диапазоном слоев;

DEPT dl du – задаем связь трещины с заданным диапазоном глубин;

OTHER length – задаем длину одного из плеч трещины, отличную от *length*;

BEND angle – задаем угол одного из плеч трещины, отличный от *angle*.

Примечание:

Для использования опций **OTHER** и **BEND** вводить их названия не нужно

Назад



INTRODUCTION



SIMULATION



WELL & COMPLETION



PRODUCTION & PROCESS

Date **WFRA** *angle kl ku length perm width cond tau mdl mdu type...*
...[LAYE ll lu | DEPT dl du] [OTHER length] [BEND angle]

angle – угол между трещиной и положительным направлением оси x;

kl ku – верхняя и нижняя границы интервала проведения ГРП;

length – полудлина трещины;

perm – проницаемость трещины;

width – ширина трещины;

cond – проводимость трещины (если заданы *perm* и *width*, то *cond* не задаем);

tau – временная константа;

mdl mdu – интервал трещины в отметках md;

type – тип трещины;

LAYE ll lu – задаем связь трещин с заданным диапазоном слоев;

DEPT dl du – задаем связь трещины с заданным диапазоном глубин;

OTHER length – задаем длину одного из плеч трещины, отличную от *length*;

BEND angle – задаем угол одного из плеч трещины, отличный от *angle*.

Примечание:

Для использования последних трех опций нужно вводить их названия, причем позиция этих опций значения не имеет

Назад



INTRODUCTION



SIMULATION



WELL & COMPLETION



PRODUCTION & PROCESS





Вопросы для самоконтроля

● Литература

1. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта./ М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. - 212 с.
2. Тынчеров К.Т., Горюнова М.В. Практический курс геологического и гидродинамического моделирования процесса добычи углеводородов: учебное пособие / К.Т.Тынчеров, М.В.Горюнова – Октябрьский: издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета, 2012, 150 с.
3. <http://oilloom.ru/77-geologiya-geofizika-razrabotka-neftyanykh-i-gazovykh-mestorozhdenij/94-gidravlicheskiy-razryv-plasta-grp>.



Окончание...

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!