EAGE Geomodel-2017

Submission ID: 43807

DFN Modelling and Upscaling of the Naturally Fractured Field

P.A. Kharitontseva* (Tomsk Polytechnic University), V.S. Rukavishnikov (Tomsk Polytechnic University), S. Geiger (Heriot-Watt University)

SUMMARY

The work starts from the analysis of the literature data of the Teapot Dome field in order to determine the fracture mechanisms induced the fracturing. The Cooper and Lorenz, 2011, theory was used as a basis of major fracture dips and azimuth. For the theory proving, the analysis of well with formation microimager (FMI), 48-x-28, was done. This well confirms the theory and the data from previous research (B.C Schwartz) can be used for discrete fracture model construction. As the major STOIIP is included in the matrix, the global geo-cellular matrix model was constructed first Then the several 3D grid sizes were created and the matrix properties were upscaled into the grids. For each grid size model the same discrete fracture model was constructed. The obtained fracture network parameters were upscaled into each grid by means of two methods Oda and Oda gold.

«Построение дискретной модели трещин и ремасштабирование параметров трещин на одном из месторождении с естественной трещиноватостью»

П.А. Харитонцева (Томский политехнический университет), В.С. Рукавишников (Томский политехнический университет), S. Geiger (Heriot-Watt University)

Введение

Моделирование трещиноватости с использованием дискретных сетей трещин (DFN), то есть задания трещин в явном виде, считается более достоверным инструментом описания систем и коридоров трещин, а также предполагается как более перспективный при предсказании поведения флюида в трещиновато-поровом пространстве.

В связи с этим встает проблема перехода от дискретного вида к конечно-разностному, и реализации расчетов на модели двойной пористости. В ходе гидродинамического моделирование существует ряд допущений и ограничений. Результаты расчетов очень чувствительны к допущениям. Для оценки влияние допущений на результаты расчета была произведена оценка влияния размера сетки на прогноз добычи нефти при ремасштабировании параметров трещин из дискретного вида в конечно-разностный. В качестве объекта исследования было выбрано месторождение с естественной трещиноватостью, Типот, США.

Характеристика трещиноватости

Месторождение Типот, расположенное в штате Вайоминг, США, приурочено к антиклинали с двойным погружением, сформировавшейся во время Ларамийского орогенеза. В состав месторождения Типот включены девять формаций, одной из которых является формация Тинслип, сложенная двумя пачками дюнных доломитизированых песчаников, разделенных 30 см слоем доломитов. Высокие пусковые дебиты, ранние прорывы воды, и изменчивая производительность скважин, доказали наличие естественных трещин, которые были идентифицированы как анизотропия проницаемости, образовавшаяся в результате формирования резервуара. Большая часть трещин, зон деформации и разломов на месторождении, сформировались во время одновременно продольного и поперечного растяжения осадочного чехла. Основой этой теории является изучение систем трещин Купером и Лоренцем [Lorenz., C and Cooper., S, 2000] обнажений Пакман, а именно в верхнемеловом песчанике формации Месаверде, которая является аналогом для изучаемой формации. Два основных этапа образования трещин были предложены Лоренцом и Купером [Lorenz., C and Cooper., S, 2011]: F1 – Ранние трещины, несвязанные со складкообразованием. Трещины параллельны максимальному горизонтальному напряжению, которое впоследствии инициировало складкообразование, F2 – Трещины приуроченные к складкообразованию, согласно статистике, в основном параллельны оси складки.
На основе данных исследований была предложена следующая концепция: выделены три основные группы трещин, которые показаны на Рисунке 1, где: A – Трещины параллельны шарниру складки (HPL), B – трещины перпендикулярны шарниру складки (HN) и C – смежные (сдвиговые) трещины (HOab).
В скважине номер 48-x-28 была запись скважинного микро сканера, которая анализировалась в данной работе, а именно была проведена интерпретация и расчет основных параметров трещин. Помимо скважины 48-x-28, исследование скважинным микро сканеров было проведено еще в 4 скважинах Шварцем [Schwartz, B., 2006]. При ручной интерпретации записей микро сканера в скважине 48-x-28, было выделено пять видов трещин. Трещины были подразделены на: литологически-ограниченные, частично залеченные, резистивные, непрерывные и вызванные бурением, первые четыре вида трещин представлены на Рисунке 2, и считаются открытыми, или частично открытыми, они были использованы при построении дискретной модели трещин. Последний вид, трещины вызванные бурением, используются в качестве важной информаций, о современном стрессе, который используется для расчетов в процессе бурения и стабильности скважин, а также для моделирования гидравлического

разрыва пласта. Роза диаграмма и равноплощадная проекция, указывают на то, что средняя плоскость простирания наблюдается на N104E, со стандартным отклонением 11,9 градусов.

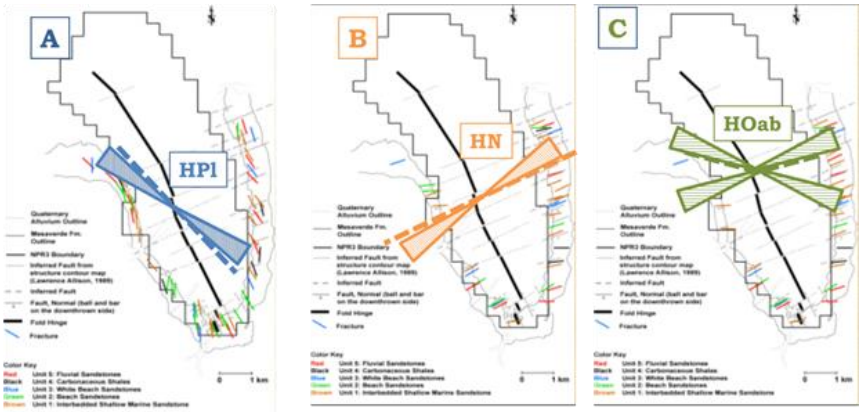

Рисунок 1 *Три основные группы трещин по направлениям, в формации Тэнслип, месторождения Типот, ред. Купер* [Lorenz., C and Cooper., S, 2011].

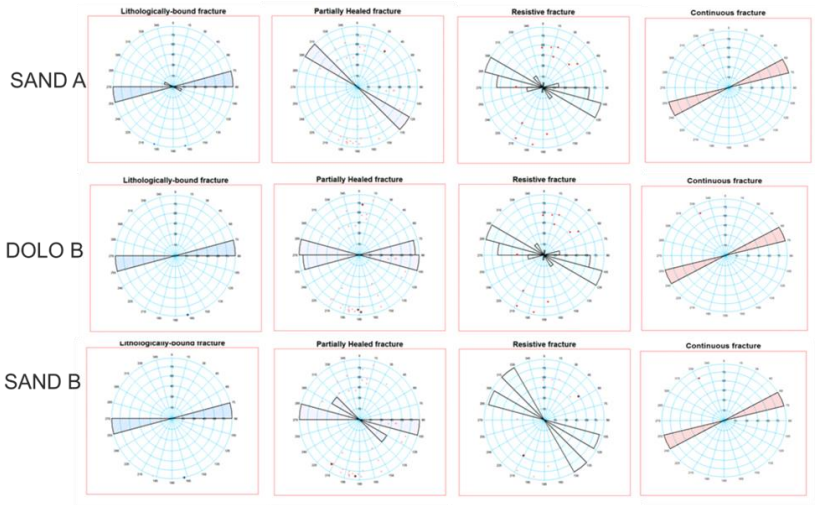

Рисунок 2 *Основные виды трещин, полученные при анализе микро сканера путем отображения на стереонете.*

Геологическая модель матрицы

Следующим этапом данной работы было построение геологической модели матрицы, которое представляло собой стандартную процедуру структурного, фациального и петрофизического моделирования и особого интереса для данной работы не представляет, однако, следует отметить, что целью данной работы было оценить влияние размера сетки на результаты ремасштабирования параметров трещин, для чего была построена детальная геологическая модель с размером сетки 25x25, на основе которой путем ремасштабирования сетки и свойств были получены загрублённые модели размерами 50x50, 100x100 и 200x200. Для увеличения скорости расчета гидродинамической модели, все построения осуществлялись в пределах сектора номер 10, именно откуда поступала основная добыча из этой формации.

Дискретные сети трещин

Следующий этап данной работы включал в себя процесс создания дискретной сети трещин, который подразделялся на несколько основных под этапов: 1. Анализ входных данных (описание обнажений, анализ сейсмических атрибутов, данные интерпретации FMI и т. д.);
2. Создание драйверов трещинообразования (сейсмические атрибуты, геомеханическое моделирование, оценка P10/21/32); 3. Стохастическое распределение трещин с параметрами,

оцененными на первых двух этапах. Первая стадия процесса основана на теории, упомянутой выше. Скважина 48-х-28 с данными FMI подтверждает основную ориентацию трещины, поэтому можно использовать информацию из предыдущих исследований аналогов.
Следующая стадия была основана на измерениях интенсивности распространения трещин по объему (P32) по данным FMI и сейсмических атрибутов (атрибут кривизны поверхности).
Карты трендов для драйверов трещиноватости были получены путем петрофизического моделирования, где в качестве входного параметра задавался P32 по скважинам с FMI и в качестве тренда карта кривизны кровли формации.
Согласно анализу полученных сетей трещин и их параметров, наибольшее количество трещин приходящихся на единицу объема обнаружено в пачке доломита, В, которые по своей природе обладает более хрупкой структурой и более подвержен трещинообразованию.
Дискретные сети трещин были созданы для каждого вида трещин, для каждой пачки в отдельности при использовании стохастического моделирования, пример для пачки А и Б представлен на Рисунке 3. Данные дискретные модели трещин были ремасштабированы в конечно-разностный элемент для дальнейшего гидродинамического моделирования, с применением модели двойной пористости.

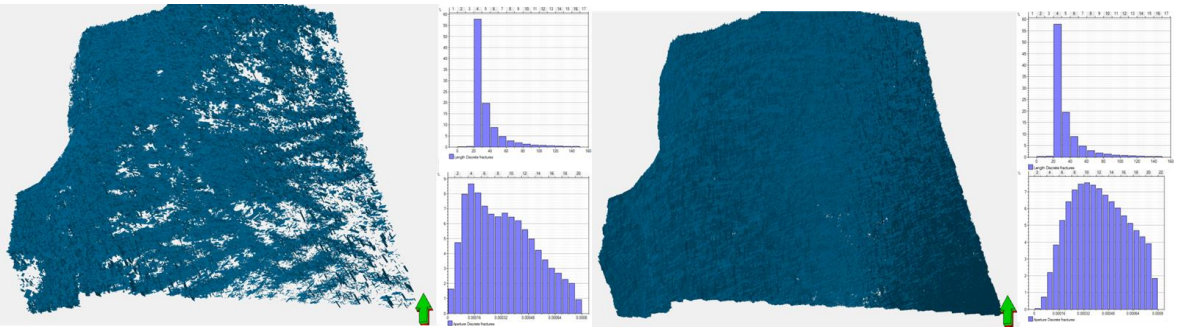

Рисунок 3 *Дискретные сети трещин для песчаника пачки А и Б и значения распределений длин и апертуры.*

Ремасштабирование параметров трещин

Следующий этап включал в себя процесс ремасштабирования параметров трещин, данный процесс, является одним из самых сложных во время построения модели двойной пористости (DP). Параметры, полученные после масштабирования, представляют собой трещинную пористость, проницаемость трещины и коэффициент взаимосвязи матрица-трещина (сигма).
Как описано Дершовитцем [Dershowitz, B., 2000] расчет пористости трещин происходит по формуле (1):

$$\emptyset_F = \frac{V_F}{V_{cell}} = \frac{\sum A_F * e}{V_{cell}} = P_{32} * e \qquad (1)$$

где значение P32 соответствует интенсивности трещин, от размера трещины, распределения и апертуры.
Тензор проницаемости трещин рассчитывается при помощи скоростей из закона Дарси [Oda, M., 1985]:

$$\overline{v_i} = \frac{g}{v} \mathrm{kijJ} \qquad (2)$$

где (v_i) кажущаяся скорость, g – ускорение свободного падения, v – кинематическая вязкость, и J -($\partial\emptyset$)/∂xi
Для расчета кажущейся скорости потока, Ода, предложил использование функцию плотности вероятности (E), которая используется в расчетах. E является функцией от ориентации трещины, размера трещины, и апертуры [Elfeel, Ahmed M., 2014].

$$\overline{v_i} = \frac{N^f}{V}\frac{1}{12\mu}\nabla\emptyset \int_o^\infty \int_o^\infty \int_\Gamma A * e^3 * E(n,A,e) . d\Gamma . dA . de \qquad (3)$$

Где N^f общее число трещин, A площадь поверхности трещины, $\nabla\emptyset$ фильтрационный потенциал, n количество трещин.

При помощи метода Ода, можно получить статистический расчет проницаемости трещины, основанный на общей площади трещин, числе трещин и апертуры трещины в каждой ячейке, однако данный метод не учитывает сообщаемость трещин, что было усовершенствовано в так называемом Золотом методе Ода, который учитывает сообщаемость между трещинами:

$$k_{ij} = \begin{cases} M\left(F_{kk}\delta_{ij} - F_{ij}\right) - MC\left(F_{kk}\delta_{ij} - F_{ij}\right) & C > C_0 \\ 0 & C \leq C_0 \end{cases} \quad (4)$$

где C_0 является пороговым значением связности трещины, ниже которого трещины не связаны, Fkk – тензор второго ранга, относящийся только к геометрии трещины, δ_ij – дельта Kronecker, M – множитель (изменяющийся 0 to 1/12).

С использованием описанных выше методов были определены параметры трещин для каждого из исследуемых случаев размера сетки (25x25, 50x50, 100x100 и 200x200).

Анализ полученных результатов показал, что проницаемость Oda имеет тенденцию переоценивать результаты с увеличением размера ячейки, линейно, в то время как горизонтальная проницаемость золота Oda имеет тенденцию быть более стационарной с почти горизонтальной линией тренда.

Причиной значительного различия в оценке проницаемости является учет связности. Для трещин, которые разъединены в одной ячейке, параметр C в уравнении (4) лежит ниже порогового значения, и проницаемость для этого набора трещин назначена равной нулю. Эту тенденцию можно наблюдать только для горизонтальной проницаемости; для вертикальной проницаемости, проницаемость, рассчитанная по Золотому методу Ода показала те же результаты, что и для Ода: увеличение значений с увеличением размера ячейки. Поэтому следует быть очень осторожным при выборе размера сетки для моделирования процессов увеличения нефтеотдачи (EOR) для трещиноватых коллекторов, например, при моделировании гравитационного дренажа, накопленная добыча нефти для случая с большим размером ячейки будет больше, чем для мелкоячеистой модели.

Выводы

На основании проведенных расчетов были получены следующие результаты:

- Увеличение размера ячейки в два раза (от детального 25x25 до 50x50) позволяет нам сохранить геологическую детальность, результаты подтверждены гидродинамическими расчетами;
- Метод Ода имеет тенденцию переоценивать приведенную горизонтальную проницаемость с увеличением размера ячейки как линейной функции, тогда как горизонтальная проницаемость по Золотому методу Ода имеет тенденцию быть более стационарной с почти горизонтальной линией тренда и считается более рекомендуемой при ремасштабировании;
- Вертикальная проницаемость, рассчитанная по Золотому методу Ода, показала идентичные результаты, что и Ода, увеличение значений с увеличением размера ячейки. Следует быть очень осторожным при выборе размера сетки для моделирования процессов EOR для трещиноватых коллекторов.

References

Dershowitz, B., LaPointe, P., Eiben, T., and Wei, L., [2000], *Integration of Discrete Feature Network Methods With Conventional Simulator Approaches: SPE Reservoir Eval&Eng. 3*

Cooper, S.C., [2000], Deformation within a Basement-Cored anticline: Teapot Dome, Wyoming: *Masters Thesis, Department of Earth and Environmental Science, New MexicoTech, Socorro, NM*

Elfeel, Ahmed M.,[2014] Improved upscaling and reservoir simulation of enhanced oil recovery process in naturally fractured reservoirs, *PhD, Institute of Petroleum Engineering Heriot-Watt University*

Lorenz., C and Cooper., S [2011], Fracture Pattern, *Search and Discovery article #40818, AAPG*

Schwartz, B., 2006 Fracture pattern characterization of the Tensleep Formation, Teapot Dome, Wyoming: *Masters Thesis, Department of Geology and Geography, Morgantown, West Virginia*

Oda, M., 1985, Permeability tensor for discontinuous rock masses: *Geotechnique, v. 35, no. 4, p. 483*