

ДУРКИН С. М.
РАЗРАБОТКА ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ
ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕЩИНОВАТО-
ПОРИСТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

УДК 004.94:553.9, ВАК 05.13.18, ГРНТИ 28.29.51

Разработка дискретной модели
трещиноватости для численного
моделирования трещиновато-пористых
коллекторов

Development of an information
system for testing skills of working
with general-purpose software

С. М. Дуркин

S. M. Durkin

Ухтинский государственный технический
университет, г. Ухта

Ukhta State Technical University,
Ukhta

В статье рассматривается актуальная проблема совершенствования моделирования трещиновато-пористых коллекторов. В работе представлен обзор современных дискретных моделей трещин, которые в настоящее время не входят в структуру коммерческих гидродинамических симуляторов за исключением модели Баренблатта. Одним из недостатков данной модели является абстрактное представление трещин, вложенных в матричные блоки. Массопереток в такой модели учитывается с помощью коэффициента, учитывающего линейные размеры матричных блоков. Для устранения данных предположений и более детального изучения механизма массоперетока в настоящее время густая сеть трещин представляется в виде реальных дискретных трещин. Реализация таких моделей требует записи балансовых соотношений для описания системы «матрица-трещина». Автором работы предпринята попытка разработки математической модели с учетом геометрических параметров

The article considers the actual problem of improving the simulation of fractured-porous reservoirs. The paper presents a review of modern discrete models of cracks, which are currently not included in the structure of the commercial hydrodynamic simulations except for the model of Barenblatt. One of the drawbacks of this model is an abstract representation of cracks embedded in the matrix blocks. Massoperenos in this model is accounted for by using a factor to the linear dimensions of the matrix blocks. To address these assumptions and a more detailed study of the mechanism massoperenosa currently a dense network of cracks appears in the form of real discrete cracks. The implementation of such models requires the recording of balance sheet ratios to describe the system of "matrix-fracture". The author attempted to develop mathematical models taking into account geometrical parameters of cracks on

трещин на основе комплексирования газогидродинамических и специальных геофизических исследований скважин. В результате представлена предполагаемая схема фильтрации флюида в системе «матрица-трещина-скважина», которая в настоящее время проходит стадию апробирования на реальном месторождении с карбонатным коллектором.

the basis of integration of special gas-hydrodynamic and geophysical studies of wells. As a result, presented the proposed scheme of fluid filtration in the system "matrix-crack-hole", which is currently being piloted on a real field with carbonate reservoir.

Ключевые слова: скважина, трещина, численное моделирование, схема, фильтрация, механизм, модель, программирование

Keywords: well, fracture, numerical modeling, scheme, filtration, mechanism, model, programming

Введение

За последние 15 лет открытия месторождений в мировом масштабе демонстрируют увеличение запасов углеводородов в карбонатных коллекторах. Углеводороды в карбонатных коллекторах отличаются разнообразием типов флюидов – от тяжелой и легкой нефти до газовых и газоконденсатных залежей. Основные процессы, формирующие сложное пустотное пространство часто связаны с тектоническими деформациями, которые определяют развитую сеть трещин, микротрещин и каверн.

Согласно классификации Nelson, в которой коллектор подразделяется на 4 типа, используется оригинальная диаграмма (рис. 1).

Таким образом, для каждого типа коллектора требуется разработка индивидуальной модели, что требует глубоких знаний о механизме массоперетока.

Расчет технологических показателей разработки в настоящее время осуществляется с помощью трехмерных численных математических моделей. В последнее время рядом специалистов разработаны следующие дискретные схемы описания сложного характера течения в системе «матрица-трещина». Представим наиболее распространенные. В работе [1] представлена принципиально новая модель трещиноватого пласта, основанная на нерегулярной сетке (рис. 2).

Согласно рисунку 2 при движении углеводорода в системе «матрица-трещина» одной из основных проблем является корректное моделирование массоперетока.

Достаточно схожий подход используется в работе авторов Jiamin Jiang, Rami M. Younis [2]. Пласт и горизонтальная скважина в пласте, которая пересекает сеть трещин (рис. 3), дискретизируется нерегулярной сеточной областью (рис. 4).

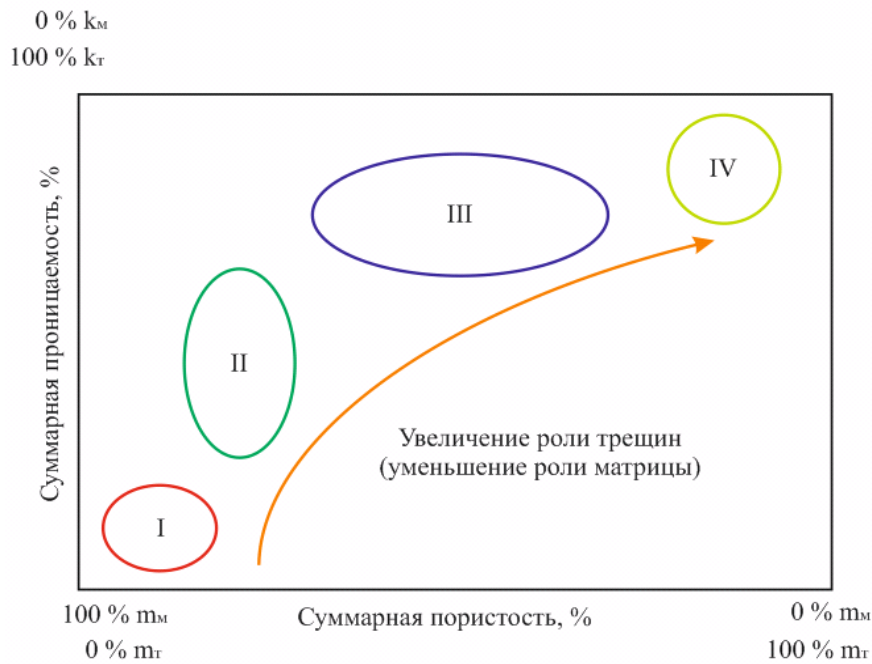


Рисунок 1. Схема расположения типов карбонатных трещинных коллекторов в координатном поле «суммарная пористость – суммарная проницаемость» (m_m , m_r – пористость матрицы и трещин, k_m , k_r – проницаемость матрицы и трещин)

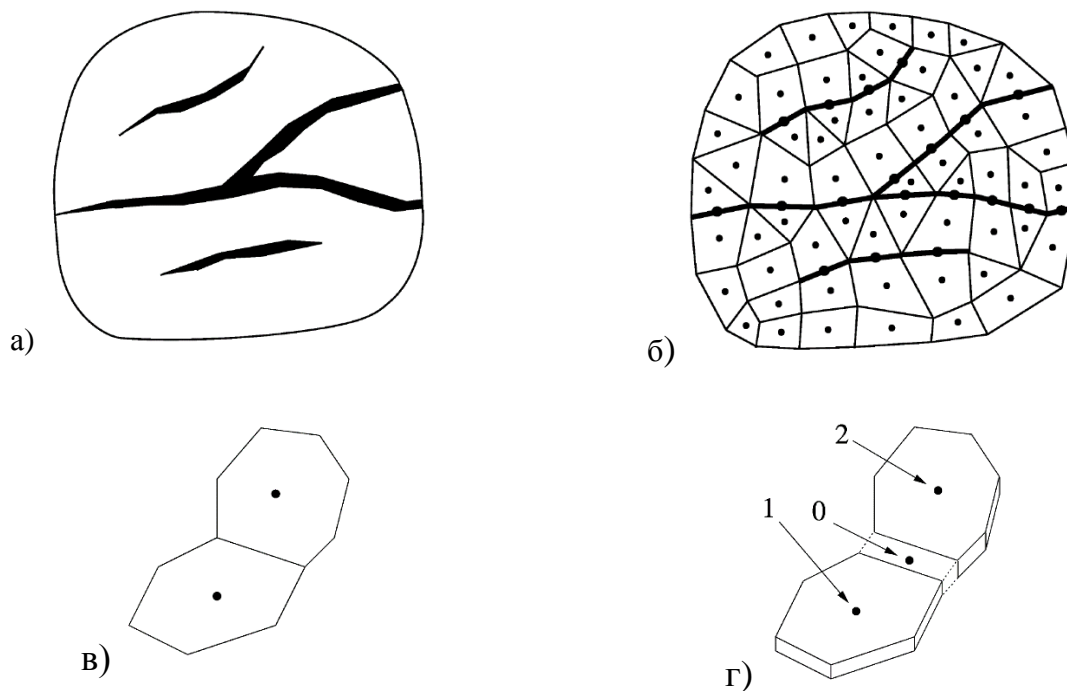


Рисунок 2. Принципиальная схема моделирования трещиноватости:
 а – элемент пласта; б – дискретизация элемента пласта; в – матричные блоки;
 г – матричные и трещинные блоки; 0 – трещина; 1, 2 – матрица

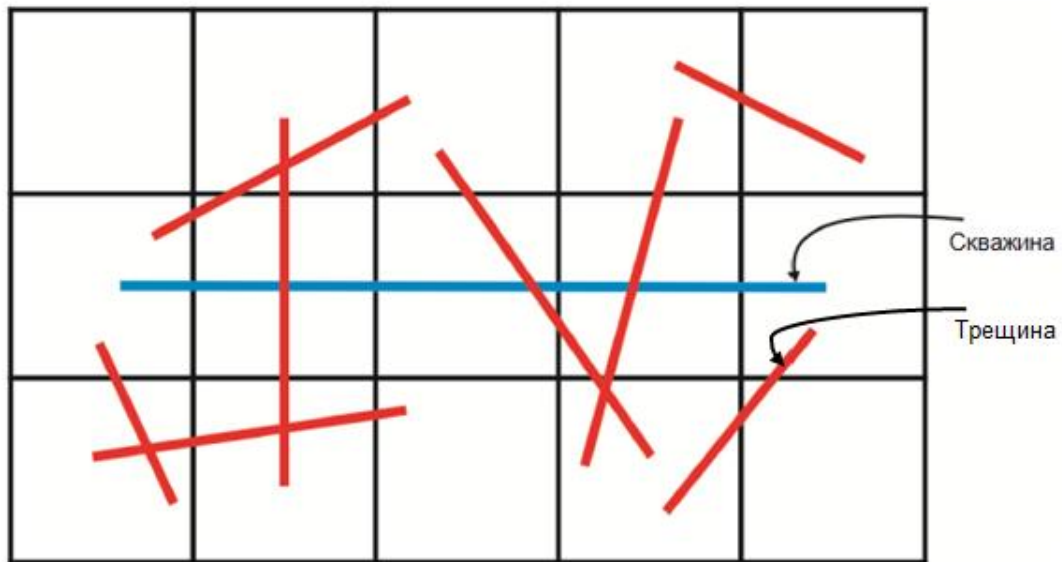


Рисунок 3. Пласт, разбитый системой трещин

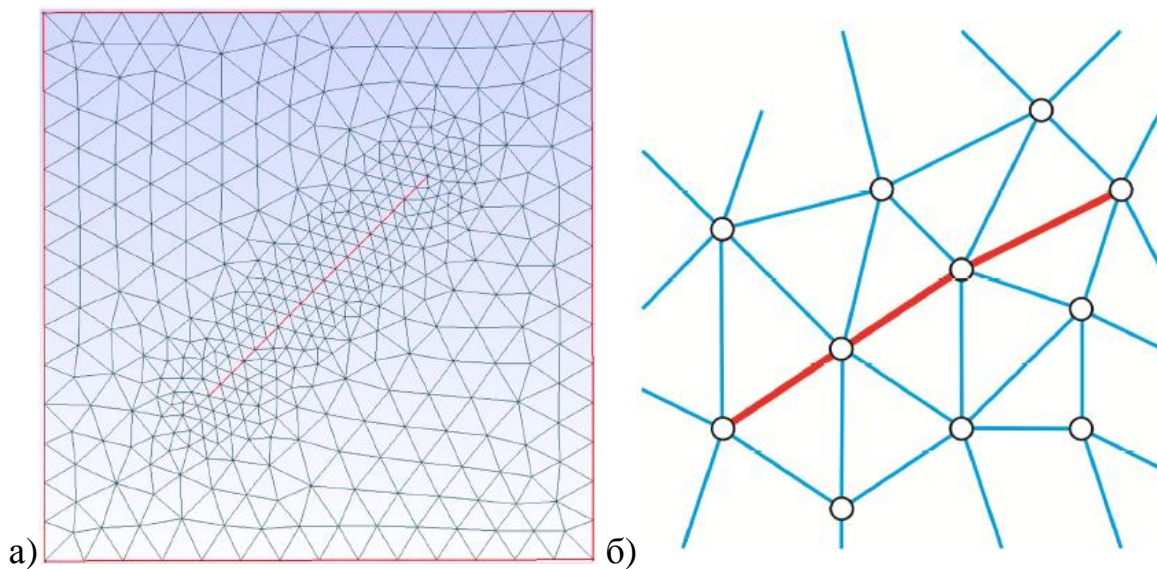


Рисунок 4. Дискретизация трещины: а – модель пласта с единичной трещиной; б – увеличенный фрагмент трещины

Подробная схема механизма массоперетока в трещине и матрице в случае нерегулярной дискретной сетки представлен на рисунке 5.

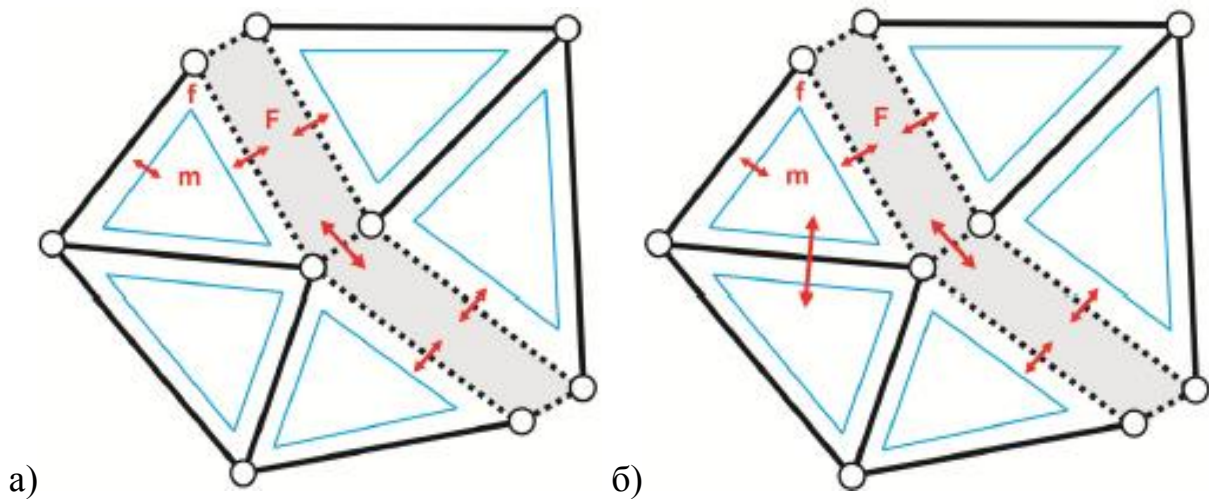


Рисунок 5. Схематичное представление системы «матрица-трещина»: а – модель двойной пористости; б – модель двойной проницаемости

Представленные модели позволяют уйти от расчета коэффициента массоперетока, рассчитываемого в классической модели Баренблатта [3] по следующей формуле:

$$q = C_{Darcy} \cdot K_m \cdot \sigma \cdot (P_m - P_f)$$

$$\sigma = 4 \cdot \left(\frac{1}{L_x^2} + \frac{1}{L_y^2} + \frac{1}{L_z^2} \right)$$

где C_{Darcy} – коэффициент Дарси; K_m – проницаемость матрицы; σ – shape фактор; P_m – давление в матрице; P_f – давление в трещине; L_x, L_y, L_z – размеры матричного блока.

Данная расчетная схема обусловлена тем, что в постановке модели двойной пористости двойной проницаемости трещинная составляющая задается в виде абстрактных кубов, вложенных в матричные ячейки (рис. 6).

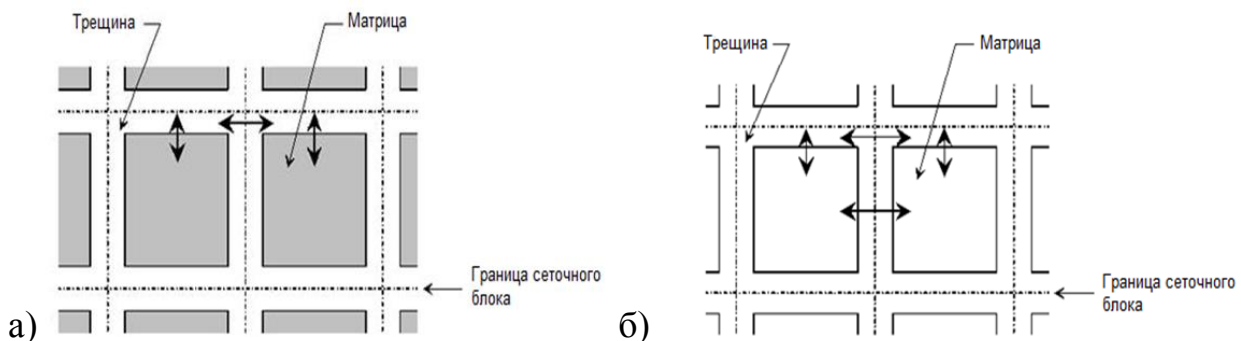


Рисунок 6. Модель Баренблатта: а) двойная пористость, б) двойная проницаемость

При гидродинамическом моделировании показателей разработки трещиновато-пористых коллекторов немаловажным обстоятельством является корректное моделирование скважины. В коммерческих гидродинамических симуляторах приток к скважине рассчитывается по следующей формуле [4]:

$$q_{jk} = I_k \cdot \lambda_{jk} \cdot (p_{wfk} - p_k)$$

$$I_k = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot k \cdot fh \cdot f}{\ln\left(\frac{re}{rw}\right) + S}$$

где q_{jk} – приток фазы j на забое в слое k (обычно знак плюс при закачке и минус при отборе); λ_{jk} – подвижность фазы j ; p_{wfk} – текущее забойное давление в слое k ; p_k – давление в сеточном блоке, слой k ; h – толщина слоя; k – коэффициент абсолютной проницаемости; fh – поправочный коэффициент перфорации; f – коэффициент положения скважины. 1 – скважина расположена в центре блока, $\frac{1}{2}$ – скважина расположена на границе блока, and $\frac{1}{4}$ – скважина расположена в углу сеточного блока; rw – радиус скважины; S – скин фактор; re – эффективный радиус блока.

Исходя из представленных выкладок необходимо отметить, что описание притока к скважине существующими моделями имеет радиальный характер, что не совсем корректно при моделировании карбонатных коллекторов, что подтверждается результатами интерпретации гидродинамических и специальных геофизических исследований FMI. Таким образом, очевидной становится задача разработки математической модели скважины с примыкающими к ней трещинами, что требует разработки собственного программного кода (рис. 7), которая в последующем будет интегрирована в единую расчетную схему гидродинамического симулятора с гибридной сеткой (рис. 8). Данная сетка предполагает использование технологии Corner Point [4].

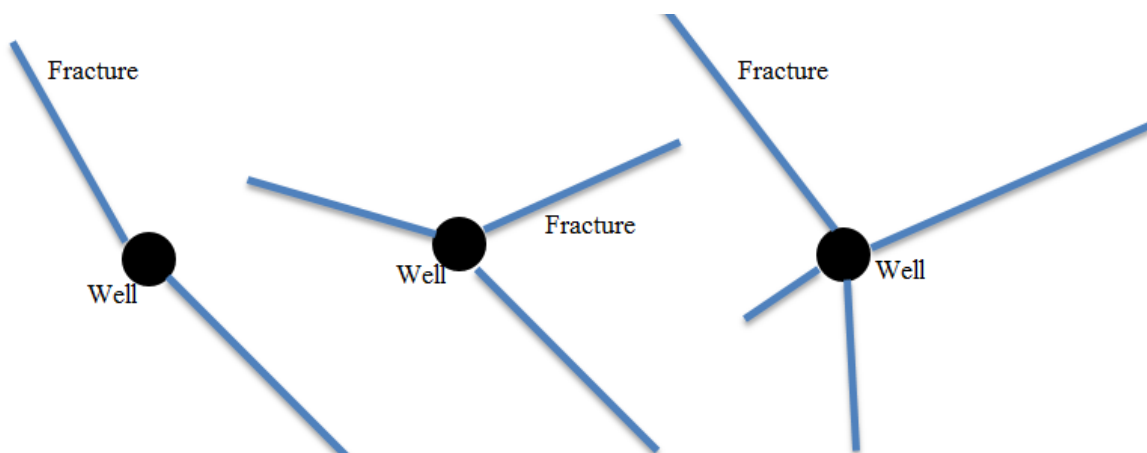


Рисунок 7. Схематичное взаимное расположение трещин вблизи скважины

При реализации модели, дренирующей трещиновато-пористый коллектор в основу положен следующий баланс массы:

$$M_{i, \varphi_j+1}^1 + M_{i, \varphi_j-1}^1 + M_{i+1, \varphi}^0 + M_{i-1, \varphi}^0 = \Delta M_{i, \varphi_j}^t,$$

где 0 – матричные блоки, 1 – трещина.

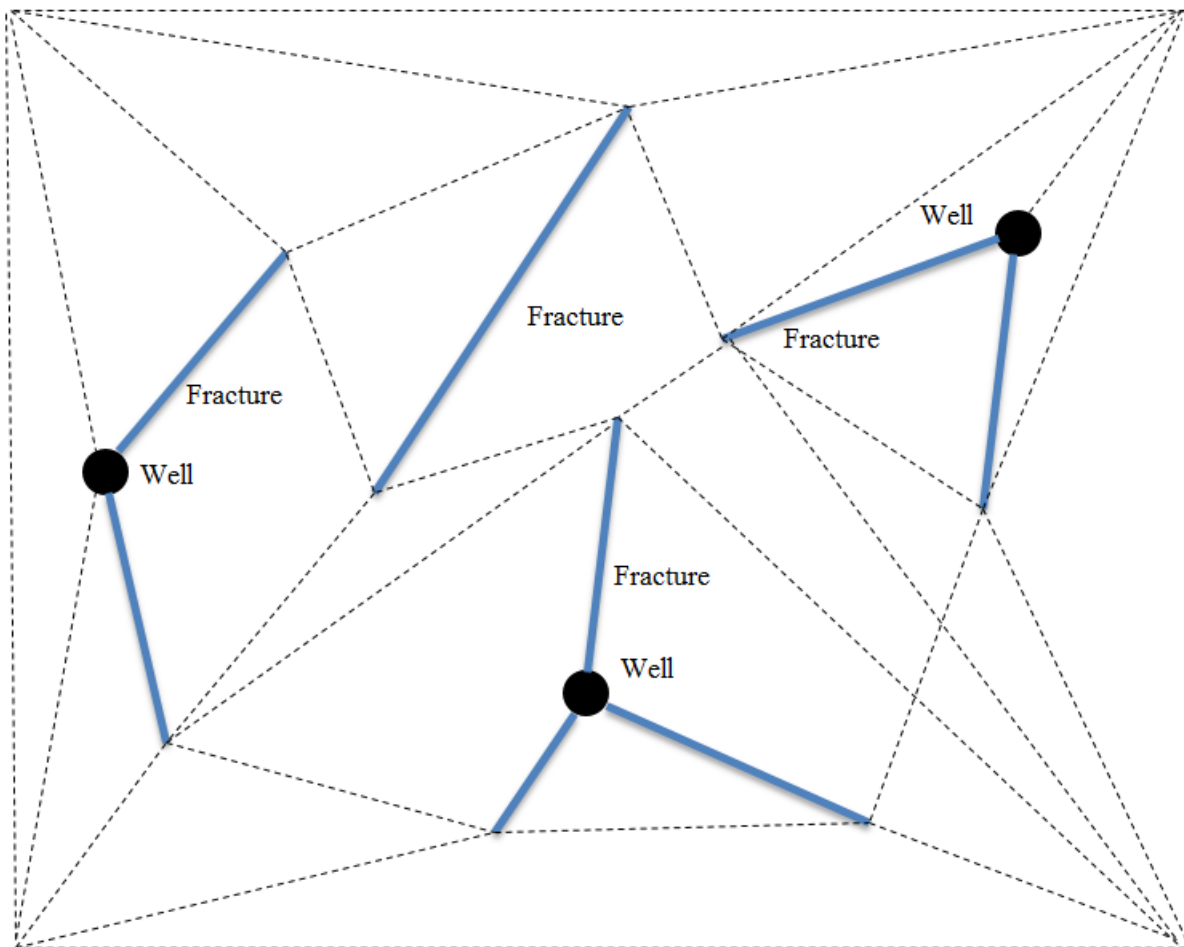


Рисунок 8. Дискретизация элемента пласта

Как видно из рисунка 8 дискретизация области месторождения с несколькими скважинами при создании дискретной модели трещиноватости требует записи балансовых соотношений представленной схемы фильтрации. В настоящее время проводятся работы по оптимальному разбиению области на дискретные блоки, что требует разработки собственного программного комплекса. В качестве базового языка программирования принят язык *c#*.

Для решения системы нелинейных уравнений системы «пласт-скважина» используется метод Ньютона. На каждой ньютоновской итерации система линейных алгебраических уравнений решается с помощью неполного гауссова исключения с подключением функции ORTHOMIN.

Выводы

– рассмотрены современные математические модели дискретного описания трещиноватости;

- при моделировании скважин в сложнопостроенных карбонатных месторождениях необходимо учитывать как линейный, так и билинейный характер притока к скважинам;
- представлена гибридная сеточная модель, учитывающая реальное положение и геометрические параметры трещин с учетом их гидродинамической связи со скважинами;
- в настоящее время проводятся численные эксперименты по оптимальному разбиению дискретной области на матричные и трещинные блоки.

Список литературы

1. Karimi-Fard M., Durlofsky L. J., Aziz K. An Efficient Discrete-Fracture Model Applicable for General-Purpose Reservoir Simulators, June 2004 SPE Journal.
2. Jiamin Jiang, Rami M. Younis A Generic Physics-based Numerical Platform with Hybrid Fracture Modeling Techniques for Simulating Unconventional Gas Reservoirs. SPE-173318-MS. This paper was prepared at the SPE Reservoir Simulation Symposium held in Houston, Texas, USA, 23-25 February 2015, 46 pages.
3. Баренблатт Г. И., Желтов Ю. П., Кочина И. Н. Об основных представлениях теории фильтрации однородных жидкостей в трещиноватых породах // ПММ, т. XXIV, вып. 5, 1960. С. 852–864.
4. STARS User's Guide – Version 2013.

List of references

1. Karimi-Fard M., Durlofsky L. J., Aziz K. “An Efficient Discrete-Fracture Model Applicable for General-Purpose Reservoir Simulators”, *SPE Journal*, June 2004.
2. Jiamin Jiang, Rami M. “Younis A Generic Physics-based Numerical Platform with Hybrid Fracture Modeling Techniques for Simulating Unconventional Gas Reservoirs”, SPE-173318-MS, *This paper was prepared at the SPE Reservoir Simulation Symposium held in Houston, Texas, USA, 23–25 February 2015*, 46 pages.
3. Barenblatt G. I., Zheltov Yu. P., Kochina I. N. “On the basic concepts of the theory of the filtration of homogeneous liquids in fractured rocks”, *J. Appl. Math. Mech.*, p. XXIV, Issue 5, 1960. Pp. 852–864.
4. STARS User's Guide – Version 2013.