

УДК 519.6:532.5

Калиниченко Роман Алексеевич

Студент

3 курс, нефтетехнологический факультет

Самарский государственный технический университет

г. Самара, Российская Федерация

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ
РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MATHCAD**

Аннотация: Приведены уравнения расчета давления пласта. Охарактеризованы возможности конечно-разностных методов (КРМ) при оценке параметров неоднородного пласта. Систематизированы возможности КРМ и пакета MathCAD в расчетах параметров пласта. Показаны проблемы исполнения расчетов с применением КРМ и MathCAD.

Ключевые слова: нефтяной пласт, конечно-разностные методы, давление, неоднородность, пакет MathCAD.

Kalinichenko, R. A.

Student

3rd year, faculty of oil technology

Samara state technical University

Samara, Russian Federation

**APPLICATION OF FINITE-DIFFERENCE METHODS FOR
CALCULATING OIL POOL PARAMETERS USING MATHCAD
PACKAGE**

Abstract: equations for calculating oil pool pressure are presented. The paper describes the possibilities of finite-difference methods for estimating the parameters of an inhomogeneous reservoir. The capabilities of finite-difference

methods and MathCAD package in the calculation of oil pool parameters are systematized. The problems of performing calculations using finite-difference methods and MathCAD are shown.

Keywords: *oil pool, finite difference methods, pressure, inhomogeneity, MathCAD package.*

Одним из практических применений задач высшей математики является их использование при строительстве и эксплуатации скважин нефтедобычи, как добывающего, так и нагнетательного типа. В данном случае возникает необходимость расчета параметров нефтяного пласта (НП), что делает актуальными исследования направлений применения математических методов и программных продуктов в ходе расчетов. Целью исследования является систематизация возможностей оценки распределения давления НП с применением конечно-разностных методов (КРМ) и пакета MathCAD.

Известно, что НП отличается неоднородностью, в связи с различиями в проницаемости как по поверхности, так и в объеме НП. При этом горизонтальные размеры НП существенно выше его толщины h , что позволяет оценивать распределение давления по координатам x и y , с введением понятия гидропроводности ε (способности НП к пропусканию жидкости, насыщающей поры). Параметр ε отличен от единицы при неоднородности НП и связывает толщину НП - h , его проницаемость - k (пропускание при наличии перепада давления) и вязкость жидкости - μ . Соответственно, вид уравнения для оценки давления НП с горизонтальной неоднородностью будет следующим (1) [1]:

$$\frac{d}{dx} \left(\varepsilon \frac{d\rho}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(\varepsilon \frac{d\rho}{dy} \right) = 0; \quad \varepsilon = \frac{kh}{\mu} \quad (1)$$

В нашем случае при использовании КРМ, давление, как непрерывная величина, представляется дискретной кусочно-непрерывной функцией,

определение которой основано на вычислении значений давления в конкретном числе узлов выделяемых подобластей (конечных элементов).

При анализе двумерной поверхности НП, элементы являются функциями как от x , так и от y . Для решения задачи определяют число, размеры и формы элементов. Выбор узловых точек производится так, чтобы обеспечить лучшее приближение к реальному распределению давления в НП. Далее, использование разностного метода решения краевых задач сводится к аппроксимации исходного уравнения системой разностных уравнений [2]. При этом в явных разностных схемах расчет на следующем шаге основан на уже вычисленных значениях в узлах предыдущего шага, что позволяет организовать «бегущий счет», с применением пакета MathCAD. Графическое представление подобласти с узлами и результата расчетов в MathCAD приведено на рисунке 1.

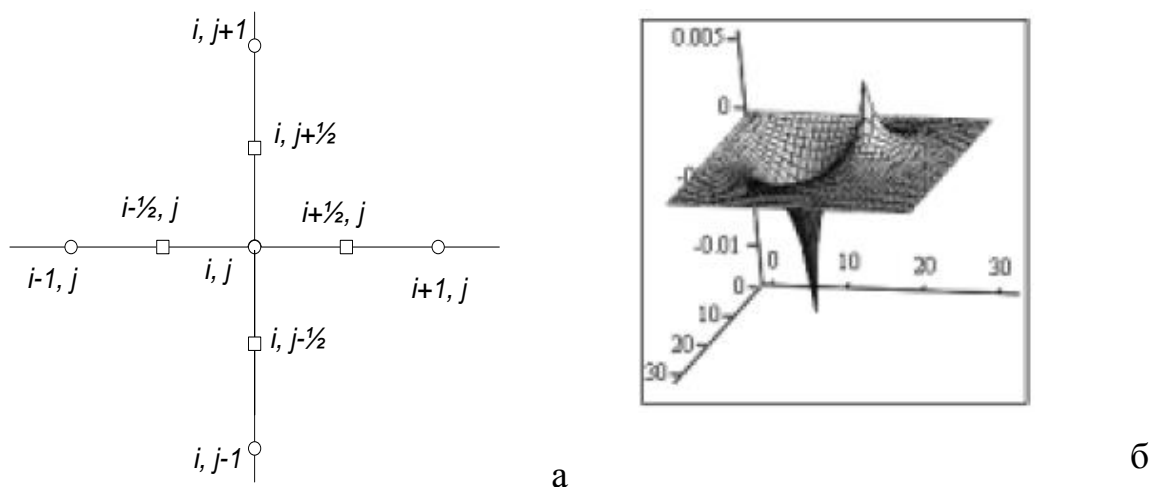


Рисунок 1 – Разностная схема (а) и пример результата в MathCAD [3] (б)

В пакете MathCAD расчет производят на основе разностной схемы (рисунок 1(а)) решения для уравнения (1) краевой задачи Дирихле с использованием пятиточечного шаблона и точности 2го порядка. После замены производных в выражении (1), предполагая линейность решения на

каждом звене сетки и используя приближения (2), получаем вторые производные (3); далее вводим массивы $\alpha_{i,j}$ и $\beta_{i,j}$ (4):

$$\varepsilon \frac{dp}{dx} \Big|_{i+1/2,j} \approx \varepsilon_{i+1/2,j} \frac{p_{i+1,j} - p_{i,j}}{\Delta x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{dp}{dx} \right) \Big|_{i,j} \approx \frac{\varepsilon_{i+1/2,j} p_{i+1,j} - (\varepsilon_{i+1/2,j} + \varepsilon_{i-1/2,j}) p_{i,j} + \varepsilon_{i-1/2,j} p_{i-1,j}}{\Delta x^2} \quad (3)$$

$$\alpha_{i,j} = \frac{\varepsilon_{i+1/2,j}}{\Delta x^2} \quad (4)$$

Приближения (2) вводим для всех промежуточных точек, уравнение (3) и массив (4) получаем как для шага по оси x - Δx , так и по оси y - Δy . Итоговая разностная схема определения давления НП имеет вид (5):

$$\alpha_{i,j} p_{i+1,j} + \alpha_{i-1,j} p_{i-1,j} + \beta_{i,j} p_{i,j+1} + \beta_{i,j-1} p_{i,j-1} - (\alpha_{i,j} + \alpha_{i-1,j} + \beta_{i,j} + \beta_{i,j-1}) p_{i,j} = 0 \quad (5)$$

и решается вызовом функции multigrid пакета MathCAD. В результате получается матрица (рисунок 1б), точность которой зависит от частоты разбиения области. Недостатками данного подхода при работе в MathCAD остаются сложности кодировок ячеек и узлов, нерегулярность и неравномерность сетки, возможные изменения коэффициентов разностного оператора [4]. Также, для НП возникают сложности учета узлов с особыми свойствами, например, вблизи скважин, с отличными параметрами давления и скачками проницаемости.

Таким образом, рассмотрены возможности применения КРМ и пакета MathCAD для расчета параметров НП. Показан порядок использования разностных схем и способы преобразования уравнений краевой задачи для оценки давления НП с применением MathCAD.

Использованные источники:

1. Алишаев М.Г. Моделирование и расчёт в прикладной механике и добыче нефти. Спецкурс для магистров. Махачкала: АЛЕФ, 2015. – 288 с.

2. Меркулова Н.Н., Михайлов М.Д. Разностные схемы для обыкновенных дифференциальных уравнений: уч. пособ. Томск. 2014. – 122 с.

3. Бадасюк Д.В. MathCAD 12. Самоучитель. 2005. – 224 с.

4. Чекмарев Д.Т. Конечно-разностный анализ численных схем метода конечных элементов // Труды математического центра имени Н.И. Лобачевского. - 2013. – С 129-159.