

УДК 622.276.1/.4.001.57:004.9

ПРОТОТИП ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СИМУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ДРОБНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ BLACK OIL

Н.С. Белевцов, С.Ю. Лукащук, д.ф.–м.н.

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

В докладе представлен прототип программного вычислительного комплекса гидродинамического моделирования фильтрационных течений в пластовых системах, обладающих свойством степенной памяти, который создан в Уфимском государственном авиационном техническом университете. Прототип основан на дробно-дифференциальном обобщении многомерной трехфазной (вода, нефть, газ) модели нелетучей нефти (Black Oil), полученной с использованием модифицированного закона Дарси с дробным интегро-дифференциальным оператором типа Римана – Лиувилля [1] по времени

$$\mathbf{u} = -\frac{k}{\mu} \left[\nabla p + k^{\alpha} D_t^{\alpha} (\nabla p) \right], \quad \alpha \in (-1, 1), \quad (1)$$

где \mathbf{u} – вектор скорости фильтрующегося флюида; μ – вязкость флюида, k – проницаемость пористой среды; k^{α} – дробный аналог проницаемости пористой среды; p – давление, t – время.

Уравнение (1) при $\alpha = 0$ переходит в классический закон Дарси. Данная модель при $\alpha > 0$ описывает замедленный (субдиффузионный) режим фильтрации, при $\alpha < 0$ – ускоренный (супердиффузионный) режим. Подстановка выражения (1) в классические уравнения массового баланса модели нелетучей нефти приводит к ее дробно-дифференциальному обобщению. Для численной дискретизации этой модели использована обоб-

щенная схема IMPES [2], в которой выделенное уравнение для давления решается по неявной схеме, а уравнения для насыщенности – по явной схеме. Дискретизация дробно-дифференциальных операторов проведена на неравномерной временной сетке с использованием линейной интерполяции между узлами. Программная реализация численного алгоритма выполнена на языке C++.

Для отладки прототипа программного комплекса использованы тестовые задачи с известным точным решением, а его возможности продемонстрированы серией вычислительных экспериментов, направленных на исследование влияния дробно-дифференциальной составляющей модели фильтрации на качественные и количественные характеристики процесса течения флюидов.

Созданный прототип программного комплекса может быть использован для оценки влияния эффектов памяти на процессы многофазной фильтрации в неоднородных сложных коллекторах с простой геометрией, а также для отработки алгоритмических и программных решений, необходимых для создания полноценного дробно-дифференциального гидродинамического симулятора нефтегазовых месторождений.

Список литературы

1. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 688 с.
 2. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – М.: Недра, 1982. – 407 с.
-