ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬЕЗОПРОВОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРОВОМ КОЛЛЕКТОРЕ

© Ю.О. Бобренёва, Р.М. Узянбаев, И.М. Губайдуллин

yu.o.bobreneva@gmail.com, ravil-11@mail.ru, irekmars@mail.ru

УДК 519.63

DOI: 10.33184/mnkuomsh2t-2021-10-06.60.

В работе рассматривается математическая модель пьезопроводных процессов двухфазной жидкости в трещиновато-поровом коллекторе. Модель представлена системой, состоящей из четырех уравнений, описывающих фильтрацию двухфазной жидкости в трещинах и в матрице. Описан метод численного моделирования на основе расщепления по физическим процессам. Поставленная задача аппроксимировалась неявной разностной схемой. Для решения системы линейных алгебраических уравнений использовался метод скалярной прогонки. Проведены вычислительные эксперименты.

Ключевые слова: математическая модель, дифференциальные уравнения, массоперенос, трещиноватый коллектор, насыщенность.

Numerical modeling of piezoconductive processes of a two-phase fluid system in a fractured-porous reservoir

The paper considers a mathematical model of piezo-conductive processes of a two-phase fluid in a fractured-porous reservoir. The model is represented by a system of four equations describing the filtration of a two-phase fluid in fractures and in a matrix. A numerical simulation method based on splitting into physical processes is described. The problem posed was approximated by an implicit difference scheme. The scalar sweep method was used to solve a system of linear algebraic equations. Computational experiments have been carried out.

Keywords: mathematical model, differential equations, fluid transfer, fractured reservoir, saturation.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 21-71-20047

Бобренёва Юлия Олеговна, аспирант, УФИЦ РАН, Институт нефтехимии и катализа РАН (Уфа, Россия); Yulia Bobreneva (Ufa Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa, Russia)

Узянбаев Равиль Мунирович, старший преподаватель, УГНТУ (Уфа, Россия); Ravil Uzyanbaev (Ufa State Petroleum Technological University , Ufa, Russia)

Губайдуллин Ирек Марсович, д.ф.-м.н., в.н.с. Института нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, профессор Уфимского государственного нефтяного технического университета (Уфа, Россия); Irek Gubaidullin (Ufa Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa, Russia)

Трещиновато-пористые коллектора характеризуются интенсивным обменным потоком жидкости между трещинами и пористыми блоками. Каждая рассматриваемая система имеет свой индивидуальный набор фильтрационно-емкостных параметров, что усложняет рассматриваемую задачу. Для изучения массопереноса двухфазной жидкости в среде с двойной пористостью предложена математическая модель, которая описывается системой дифференциальных уравнений с частными производными. В основе математического описания процессов фильтрации лежат уравнения механики сплошных сред, включающие в себя законы сохранения массы, импульса и энергии, дополненные фазовыми равновесными соотношениями. В качестве функций перетока используются классические функции, предложенные в работах Уоррена-Рута.

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial(\varphi^f \rho_o^f S_o^f)}{\partial t} + \nabla(\rho_o U_o^f) + q_o^f = \rho_o q_j, \\
 & \frac{\partial(\varphi^f \rho_w^f S_w^f)}{\partial t} + \nabla(\rho_w U_w^f) + q_w^f = \rho_w q_j, \\
 & \frac{\partial(\varphi^m \rho_o^m S_o^m)}{\partial t} + q_o^m = \rho_o q_j, \\
 & q_o^m = -q_o^f = -\rho_o^m \sigma \lambda_o^m (P^f - P^m), \lambda_o^m = \frac{k^m k_{ro}(S_o^m)}{\mu_o}, \\
 & \frac{\partial(\varphi^m \rho_w^m S_w^m)}{\partial t} + q_w^m = \rho_w q_j, \\
 & q_w^m = -q_w^f = -\rho_w^m \sigma \lambda_w^m (P^f - P^m), \lambda_w^m = \frac{k^m k_{rw}(S_w^m)}{\mu_w}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

P^f – пластовое давление в сети трещин (МПа), P^m – пластовое давление в матрице (МПа), φ^f – пористость в системе трещин, φ^m – пористость в матрице, ρ_o – плотность нефти (г/м³), ρ_w – плотность воды (г/м³), S_o^f – насыщенность нефти/воды в системе трещин, S_o^m – насыщенность нефти/воды в матрице, U_o^f – скорость течения нефти/воды, q_j – дебит жидкости (м³/сут), q_i^α – функция перетока между матрицей и трещинами, k^α – абсолютная проницаемость (м²), k_{rw} , k_{ro} – относительные фазовые проницаемости (м²), μ_o – вязкость нефти (Па·с), μ_w – вязкость воды (Па·с), σ – коэффициент трещиноватой породы (1/м²), $\alpha = f, m$, где f -система трещин, m -система матриц, $i = o, w$, где o – нефть, w -вода [1, 2].

Полученная система является сложной и влечет за собой ряд трудностей, которые связаны с отсутствием важных свойств линеаризованной системы уравнений, таких как самосопряженность и симметричность, присутствующих при описании пьезопроводных процессов [3]. Для устранения возникшей проблемы проводится полное расщепление системы по физическим процессам [4]. После расщепления системы строится неявная разностная схема для блока по пьезопроводности. На основе предложенной разностной схемы рассчитываются давления в системе трещин и матрице. Для решения системы линейных алгебраических уравнений использовался метод скалярной прогонки. Проведены вычисли-

тельные эксперименты.

Литература

1. *Bobreneva Yu.O., Mazitov A.A. and Gubaydullin I.M.* Mathematical Modeling of Fluid Flow Processes in The Fracture-Porous Reservoir // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1096 (2019) 012187, doi:10.1088/1742-6596/1096/1/012187.
2. *Aziz H and Settari E* 2004 Mathematical modeling of reservoir systems (Moscow-Izhevsk:Institute for Computer Research)
3. *Патанкар С.В.* Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. [ред.] Яньков Г.Г. [перев.] Калабин Е.В. б.м.: МЭИ, 2003 г. - 312 с.
4. *Рагимли П.И., Повещенко Ю.А., Рагимли О.Р., Подрыга В.О., Казакевич Г.И., Гасилова И.В.* Использование расщепления по физическим процессам для численного моделирования диссоциации газовых гидратов// Математическое моделирование, 2017, т.29, №7, с.133-144