

Прямое численное моделирование потоковых пропагаторов в пористых средах с использованием ядерного магнитного резонанса

К.Л. Клименок^{1,2}, А.Ю. Демьянов²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Московский научный центр «Шлюмберже»

Исследование потоков флюидов и распределение смещений примесей в пористых средах представляет большое значение в задачах биологической перфузии, при очистке загрязненных почв, проектировании химических реакторов, а также в нефтедобыче. Помимо практического, это имеет и большое теоретическое значение в связи со сложным взаимодействием механических и диффузионных процессов в различных средах [1,2].

В последнее время наблюдается увеличение числа экспериментов по ядерному магнитному резонансу (ЯМР). В них описывается методика получения распределения смещений (дисперсии) флюидов в горных породах. В случае стационарного потока жидкости используется ЯМР релаксация с градиентными импульсами, которые кодируют положения молекул жидкости в некоторый момент времени t_0 . Измерения проходят до момента времени t , и в результате строится распределение смещений $P(x, t - t_0)$, которое учитывает конвекцию и молекулярную диффузию. Такое распределение смещений называется потоковым пропагатором [3].

В работе представлена численная модель ЯМР релаксации, массопереноса и диффузии для цифровой модели пористой среды с однофазным насыщением. В основу модели положено обобщенное уравнение Блоха [4], которое решается явным консервативным методом. Метод ЯМР релаксации с градиентными импульсами, описанный в [3], полностью повторяется в модели. Проведено тестирование метода для сплошной среды для случаев диффузии без конвекции и диффузии с конвекцией. Результаты, полученные в модели, совпадают с аналитическим решением для уравнений сплошной среды. Также получены распределения смещений для цифровой модели песчаника Fontainebleau.

Литература

1. De Gennes P. G. Hydrodynamic dispersion in unsaturated porous media //Journal of Fluid Mechanics. – 1983. – Т. 136. – С. 189-200.
2. Saffman P. G. A theory of dispersion in a porous medium //Journal of Fluid Mechanics. – 1959. – Т. 6. – №. 03. – С. 321-349.

3. Scheven U. M. et al. Quantitative nuclear magnetic resonance measurements of preasymptotic dispersion in flow through porous media //Physics of Fluids. – 2005. – T. 17. – №. 11. – C. 7107.
4. Torrey H. C. Bloch equations with diffusion terms //Physical Review. – 1956. – T. 104. – №. 3. – C. 563.