

Уравнение неравновесной пропитки матричных блоков в модели двойной пористости Кондаурова для произвольных времен релаксации

А.С. Волошин

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Усреднение многофазной фильтрации в неоднородных пористых средах и численное моделирование данного процесса уже многие годы представляют большой интерес. В работе рассмотрена математическая модель неравновесной двухфазной фильтрации несмешивающихся жидкостей в среде с двойной пористостью в рамках термодинамически согласованной модели Кондаурова (см. [1-3]). Эта модель имеет довольно сложный вид с точки зрения численного моделирования. Первая попытка упростить усредненную модель двойной пористости Кондаурова была предпринята в [4]. Было показано, что для малых времен релаксации усредненная задача может быть представлена в виде обыкновенных уравнений двухфазной фильтрации несжимаемых жидкостей с двумя источниковыми членами, полученных с помощью решения локальной задачи в матричных блоках, которая является краевой задачей для уравнения неравновесной пропитки. Целью данной работы является обобщение результатов работы [4] на произвольные времена релаксации.

Для получения уравнения неравновесной матричной пропитки в случае произвольных времен релаксации задача для матричного блока на усредненную насыщенность смачивающей фазы и усредненные фазовые давления была сведена к новой задаче на уравнение неравновесной пропитки, заданном в терминах насыщенности смачивающей фазы s и параметра ξ , удовлетворяющего уравнению

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{1}{\tau} \left[\frac{\alpha}{\beta} (1-s) - \xi \right],$$

где $\alpha, \beta > 0$ – определяющие параметры модели, $\tau > 0$ – время релаксации.

Показано, что краевая задача для уравнения неравновесной пропитки в матричном блоке Y_m имеет вид:

$$\begin{cases} \Phi_m \frac{\partial s}{\partial t} + K_m \operatorname{div}_y \{ F(s, \xi) \nabla_y p_c(s, \xi) \} = 0 & \text{в } Y_m; \\ p_c(s, \xi) = P_c(S) & \text{на } \partial Y_m; \\ s(x, y, 0) = s^{init}(x), \end{cases}$$

где S – насыщенность смачивающей фазы в трещинах, Φ_m – пористость матричных блоков, K_m – глобальная проницаемость матричных блоков, p_c – капиллярное давление в матричных блоках, P_c – капиллярное давление в трещинах, а функция F определена соотношением:

$$F(s, \xi) = \frac{\lambda_{m,w}(s, \xi) \cdot \lambda_{m,n}(s, \xi)}{\lambda_{m,w}(s, \xi) + \lambda_{m,n}(s, \xi)},$$

где $\lambda_{m,w}(s, \xi)$ и $\lambda_{m,n}(s, \xi)$ – мобильности смачивающей и несмачивающей жидкостей в матричном блоке, соответственно.

Для расчета распределения насыщенности в фиксированный момент времени использована численная схема второго порядка точности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта №15-11-00015 в лаборатории флюидодинамики и сейсмоакустики МФТИ.

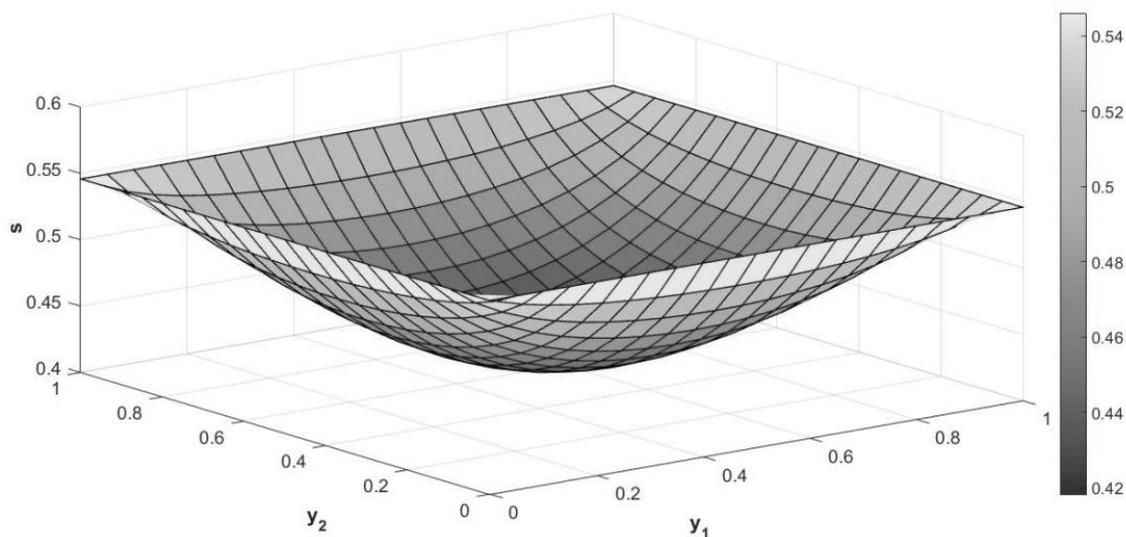


Рис. 1. Распределение насыщенности при $\tau = 1$

Литература

1. *Kondaurov V.I.* A non-equilibrium model of a porous medium saturated with immiscible fluids // *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. 2009. V. 73, I. 1. P. 88–102.
2. *Konyukhov A., Tarakanov A.* On two approaches in investigation of non-equilibrium effects of filtration in a porous medium // *Poromechanics V: Proceedings of the Fifth Biot Conference on Poromechanics ASCE*. 2013. P. 2307–2316.
3. *Konyukhov A., Pankratov L.* Upscaling of an immiscible non-equilibrium two-phase flow in double porosity media // *Applicable Analysis*. 2016. V. 95, I. 10. P. 2300–2322
4. *Konyukhov A., Pankratov L.* New non-equilibrium matrix imbibition equation for double porosity model // *Comptes Rendus Mécanique*. 2016. V. 344, I. 7. P. 510–520.