ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/155

**СВЯЗАННЫЕ МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ С КОНЦЕНТРАЦИОННЫМ
РАСШИРЕНИЕМ, БАРОДИФФУЗИЕЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТЬЮ**

^{1,2}Князева А.Г., ¹Чумаков Ю.А.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*

²*Томский политехнический университет, Томск, Россия*

Фильтрация смесей в пористых средах имеет многочисленные приложения. Среди них нефте- и газодобыча, производство строительных материалов, синтез новых материалов в режиме фильтрационного горения, синтез в кипящем слое, сушка в химической промышленности и др. Сложной пористой структурой обладают природные и биологические среды. Например, стенки пор и капилляров в биообъектах, в свою очередь, имеют сложную пористую структуру, что оказывает влияние на перенос в них биологических жидкостей, который сопровождается адсорбцией и другими поверхностными явлениями, биохимическими реакциями и электрофизическими процессами. Известные к настоящему времени теоретические работы, как правило, исходят из закона Дарси и его обобщений для многокомпонентных и многофазных сред. В разных приложениях популярны модели Бакли-Лeverетта (Buckley S.E., Leverett M.C.) и модель Бринкмана (Brinkman). При явном введении времени установления равновесия (времени релаксации) приходят к моделям неравновесной фильтрации (Хасанов М.М.). Обобщение закона Дарси для многокомпонентных и многофазных течений на основе термодинамики необратимых процессов было сделано в [1]. Подобный подход для гетерогенных материалов использован в [2].

В настоящей работе предложены варианты моделей фильтрации, использующие неравновесные уравнения состояния в дифференциальной форме, явно включающие коэффициент сжимаемости, коэффициенты концентрационного расширения и другие физические параметры, отражающие изменение реологических свойств и состава, аналогично [3,4]. При построении моделей используется расширение основных термодинамических уравнений за счет учета дополнительных видов работ, связанных с наличием в сложных средах дополнительных факторов и новых термодинамических переменных состояния. Естественно, все классические модели следуют из представленного обобщения как частные случаи. В качестве примеров анализируются решения частных стационарных задач, иллюстрирующих роль разных эффектов, которые могут проявиться в условиях низких скоростей фильтрации. Работа демонстрирует постепенное усложнение моделей при учете связанных эффектов между явлениями разной физической природы. Взаимодействие явлений приводит к появлению особенностей в нелинейных уравнениях, которые требуют разработки специальных алгоритмов даже для одномерных задач.

Например, для плоского слоя стационарная модель фильтрации неидеальной жидкости с коэффициентом сжимаемости β_T имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{d^2 p}{dx^2} + \left(\beta_T \frac{dp}{dx} - \alpha_C \frac{dC}{dx} \right) \frac{dp}{dx} &= 0; \\ D \frac{d^2 C}{dx^2} + \frac{m D \alpha_C}{RT \rho} \frac{d}{dx} \left(C \frac{dp}{dx} \right) + \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx} \frac{dC}{dx} &= 0; \\ x = 0 : C = C_1; \quad x = L : C = C_2; \\ x = 0 : p = p_1; \quad x = L : p = p_2, \end{aligned}$$

где p - давление, C - относительная массовая концентрация; x - пространственная координата; k - проницаемость слоя; μ - вязкость; D - коэффициент диффузии; m - молярная масса диффузанта; T - температура; R - универсальная газовая постоянная; ρ - плотность смеси. Даже в таком простом случае разделить уравнения удастся только при переходе к уравнению более высокого порядка, что совсем нетривиально для численной реализации.

Секция 3. Проблемы компьютерного конструирования материалов с иерархической структурой

Расчеты показывают, что распределение давления, концентрации и скорости в плоском слое при отличном от нуля коэффициенте связанности

$$\omega = \frac{m\alpha_C p_1}{RT\rho_*} \frac{D}{V_* L},$$

где ρ_*, V_* - типичные для процесса характерные значения плотности и скорости, L - линейный размер слоя. Для этого частного случая обобщение закона фильтрации имеет вид

$$V = -\frac{k}{\mu a \beta_T} \left[-\frac{\nabla \cdot V}{V} + \alpha_C \nabla C \right],$$

где a – просветность. Для сжимаемой жидкости в этом случае $\rho V = const$.

Выявленные в частных моделях нелинейные эффекты могут представлять интерес для моделирования течений биологических жидкостей, когда наблюдаются отклонения от классических законов фильтрации.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2018-2020, проект № 23.2.5.

Литература

1. Колесниченко А.В., Максимов В.М. Обобщенный закон фильтрации Дарси как следствие соотношений Стефана-Максвелла для гетерогенных сред // Математическое моделирование. 2011. Т.13. № 1. С. 3–20.
2. Byung Chan Eu Irreversible thermodynamics of heterogeneous systems // Journal of Physical Chemistry. 1987. V.91. P.1184-1199
3. Князева А.Г. О моделировании необратимых процессов в материалах с большим числом внутренних поверхностей // Физическая мезомеханика. 2003. Т.6. № 5. С.11-27
4. Knyazeva A.G. Thermodynamics with additional parameters for polycrystals // Nanoscience and Technology: An International Journal. 2016.V.7. No 6. P. 1-25