УДК 532.685

**Моделирование двухфазного потока в пористой среде с использованием двумерной сетевой модели**

***К. Шаббир, О. Извеков, А.Конюхов***

Московский физико-технический институт

Моделирование двухфазного течения в пористых средах имеет множество применений в нефтедобыче, гидрологии, производстве электроэнергии и т.д. Классические континуальные модели рассматривают проницаемость как функцию только насыщенности. Классические континуальные модели неспособны объяснить неравновесные эффекты [1]. Продвинутые модели сплошных сред, такие как модель Кондаурова [2], рассматривают проницаемость как функцию неравновесного параметра в дополнение к насыщенности. Чтобы лучше понять неравновесные эффекты, необходимо разработать модели в масштабе пор. Наша модель похожа на сетевую модель [3]. Однако в нашей модели используются цилиндрические трубки вместо трубок формы песочных часов, что позволяет нам выводить точные уравнения расхода [4]. В нашей модели также используется новый метод распределения различных фаз в узлах. Мы смоделировали процесс пропитки, когда смачивающая жидкость изначально располагалась во внешней области с трубками большего радиуса, а несмачивающая жидкость - во внутренней области с трубками меньшим радиусом (более мелкими порами). Мы вычислили зависимость насыщенности смачивающей фазы и среднее капиллярное давление от времени во внутренней области (с более мелкими порами). Среднее капиллярное давление определяется как:

(1)

Здесь коэффициент поверхностного натяжения. - радиус трубки.

Основные этапы расчета таковы: сначала мы определяем давление в каждом узле, решая систему линейных уравнений. Затем, исходя из известных давлений, мы вычисляем скорость потока. Наконец, мы выбираем подходящий временной шаг, распределяем жидкости в узлах и выполняем перемещение жидкостей в трубках. Жидкости распределяются таким образом, что смачивающая жидкость сначала поступает в самые тонкие трубки. Наша сетевая модель показывает, что смачивающая жидкость со временем проникает в область более мелких пор, при этом насыщенность стремится к равновесному значению. Кроме того, видно, что капиллярное давление увеличивается с уменьшением равновесной насыщенности.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 1. Начальная конфигурация жидкостей, при которой смачивающая жидкость расположена во внешней области. | Рис. 2. Поздняя стадия пропитки. Проникновение смачивающей жидкости во внутренние области с меньшим радиусом трубок. |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 3 | Рис. 4 |

На рис. 3: Показаны результаты различных численных экспериментов, в которых начальное насыщение смачивающей (голубой) жидкости в системе варьировалось, что приводило к различному конечному насыщению смачивающей жидкости во внутренней области, по мере уменьшения конечного насыщения среднее капиллярное давление увеличивается, поскольку мениски расположены в самых тонких трубках. На рис. 4: показаны графики зависимости капиллярного давления от насыщенности смачивающей жидкости, измеренные экспериментально [5].

В будущем мы намерены распространить нашу модель на трехмерный случай и создать более сложную связь между узлами, имея в виду, что конечной целью наше

Работа поддержана грантом РНФ №23-21-00175.

**Литература**

1. *Raoof A., Hassanizadeh S.* A new method for generating pore-network models of porous media // Transp. Porous Med. 2010. V. 81. P. 391–407.
2. Кондауров В. И. Неравновесная модель пористой среды, насыщенной несмешивающимися жидкостями //Прикладная математика и механика. – 2009. – Т. 73. – №. 1. – С. 121-142.
3. *Aker E., Måløy K. J., Hansen A., Batrouni G. G.* A two-dimensional network simulator for two-phase flow in porous media // Transp. Porous Med. 1998. V. 32. P. 163–186.
4. *K. Shabbir* Simulation of Two-Phase Flow in Porous Media using a Two-Dimensional Network Model // 65th All Russia MIPT Conference ISBN 978-5-89155-388-0 2023 V. 78 P. 205 - 206
5. *Fatt I.* The network model of porous media III. Dynamic properties of networks with tube radius distribution // Petroleum Trans. AIME 1956. V. 207. P. 164–181.