

Двухскоростная модель фильтрации двухфазной жидкости в трещиновато-пористых средах

БЕРВЕНО ЕКАТЕРИНА ВИКТОРОВНА

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск)
e-mail: ekaterina.berveno@gmail.com

КАЛИНКИН АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск)

ЛАЕВСКИЙ ЮРИЙ МИРОНОВИЧ

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск)

Аннотация

Ранее в рамках данной тематики авторами статей [1,2] исследовались модели фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости в однородной среде с различным расположением скважин. В последующих исследованиях акцент ставился на изучение того, как неоднородности в почве могут влиять на процесс фильтрации. Эксперименты, в которых неоднородные блоки в нефтеносном пласте задавались при помощи параметров пористости и проницаемости приведены в статье [3]. Результаты расчетов продемонстрировали, что время прорыва воды в добывающие скважины значительно изменяется в зависимости от местоположения неоднородностей. В результате, стала очевидной неточность классической теории фильтрации в пористых средах при применении её для описания коллекторов некоторых структур трещиновато-пористого типа.

В данной работе рассматривается двухфазное течение, соответствующее вытеснению первоначально заполнявшей поры пласта нефти, подаваемой в коллектор под давлением водой в трещиновато-пористой среде. Характерная особенность такого вида сред состоит в том, что движение жидкости в ней происходит в основном по тре-

щинам, в то время как объем трещин мал и основные запасы жидкости заключаются в пористых блоках. Основой построенной модели послужила монография Баренблатта [5].

В новой модели каждой точке пространства соответствуют две системы уравнений. Одна система уравнений описывает процесс фильтрации для пор, вторая - процесс движения жидкости в трещинах. А поскольку вместо одного давления жидкости в каждой точке среды два: давление в трещинах и давление в порах блоков, то эти системы уравнений связаны аналогом закона теплообмена ньютоновской жидкости.

Для получения дискретной модели используется метод конечных элементов. Переход от дифференциальной постановки задачи к обобщенной смешанной постановке для задачи Неймана, как и в работах [1, 2], происходит в соответствии с [6]. Особенность такого моделирования заключается в том, что способ задания скважин не требует сгущения сетки в прискважинных зонах и соразмерности диаметра скважин шагу сетки.

Для решения седловой системы уравнений применяются дополнение Шура и метод сопряженных градиентов с переобуславливателем. Для решения осталь-

ных сеточных уравнений используется умножение на блочно-двухдиагональные и блочно-трехдиагональные матрицы, а так же обращение прогонкой блочно-трехдиагональных матриц. Для аппроксимации по времени уравнения насыщенности вытесняющей фазы используется явная схема типа предиктор-корректор второго порядка аппроксимации, как и в работе [1], с одним вычислением правой части на шаге интегрирования. Данная схема, предложенная в статье [4], продемонстрировала эффективность при численных экспериментах и в работе [3].

Для построенной модели применяется разработанная в ходе предыдущих исследований методика распараллеливания трехмерной задачи с использованием MPI технологии для компьютерных систем, удовлетворяющих кластерной структуре.

Список литературы:

1. Yu. M. Laevsky, P. E. Popov, A. A. Kalinkin, Simulation of two-phase fluid filtration by mixed finite element method // *Matem. Mod.* 2010. Vol. 22. N 3. P. 74–90.
2. P.E. Popov, A.A. Kalinkin, The method of separation of variables in a problem with a saddle point // *Russian J. Numer. Anal. Math. Model.* 2008. Vol. 23. N 1. P. 97–106.
3. E.V. Berveno, Simulation of two-phase fluid filtration with nonuniform media on clusters (в печати)
4. Г. В. Демидов, Е. А. Новиков, Экономичный алгоритм интегрирования нежестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений. // *Численные методы в математической физике*, 1979, Новосибирск: ВЦ СО СССР, с. 69–83.
5. Г. И. Баренблатт, В. М. Ентов, В. М. Рыжик, Движение жидкостей и газов в природных пластах. М., Недра, 1984. 104–112, 147–149 с.
6. F. Brezi and M. Fortin, *Mixed and Hybrid Finite Element Methods* // New York: Springer-Verlag, 1991.