

0.1. Лапин В.Н. Оценка применимости аналитических моделей с помощью вычислительного эксперимента на примере течения Пуазеля в шероховатых трещинах

Решение задачи о ламинарном течении Ньютоновской жидкости в плоском канале постоянного сечения (течении Пуазейля) хорошо известно с XIX века и благодаря своей простоте широко используется при описании фильтрации в трещиновато-пористых средах [1], моделировании гидроразрыва [2] и других задачах, связанных с течением жидкости в трещинах, разломах, стыках и т.д. Согласно этому решению перепад давления p выражается через объемный расход жидкости q , ее вязкость μ и ширину канала w как

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{12\mu q}{w^3}. \quad (1)$$

Однако амплитуда шероховатости берегов трещин в реальных горных породах сопоставима с их шириной, и предположения, в которых получен кубический закон (1), в общем случае не выполняется. С конца прошлого века делаются попытки скорректировать этот закон на основе лабораторных исследований [3] или численного моделирования [4] течений в реальных трещинах. Но такой подход позволяет провести ограниченное количество экспериментов, поэтому предлагаемые различными авторами модификации заметно отличаются, и окончательная теория еще не сформирована [5].

В настоящей работе на основе численного моделирования с использованием комплекса ANSYS проведена оценка области применимости и погрешности нескольких модификаций кубического закона (1), полученных путем аналитического решения уравнений движения жидкости в каналах со стенками, задаваемыми периодическими функциями [6]. Благодаря использованию периодических функций моделирование можно было проводить в одном элементе поверхности с использованием подробной сетки, которая обеспечивает достаточно малое значение численной погрешности и отсутствие численных артефактов решения. Рассмотренный класс каналов не позволяет сформулировать новую модификацию закона, учитывающую характеристики шероховатости в общем случае, но может быть использован для оценки применимости уже разработанных формулировок.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (FWNS-2022-0009).

Список литературы

- [1] MEDICI G., LING F., SHANG J. Review of discrete fracture network characterization for geothermal energy extraction // Front. Earth Sci 2023. 11:1328397.
- [2] ЧЕРНЫЙ С.Г., ЛАПИН В.Н., ЕСИПОВ Д.В., КУРНАКОВ Д.С. Методы моделирования зарождения и распространения трещин / Новосибирск: СО РАН, 2016. 312 с.
- [3] BARTON N., BANDIS S., BAKHTAR K. Strength deformation and conductivity coupling of rock joints // Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Geomech. Abstracts 22 (3) (1985) 121–140.
- [4] BRIGGS S., KARNEY B., SLEEP B. Numerical modeling of the effects of roughness on flow and eddy formation in fractures // Int J. Rock Mech. Geotech. Eng 9 (2017) 105–115.
- [5] NGUYEN X., DONG J.-J., YU C. Is the widely used relation between mechanical and hydraulic apertures reliable? viewpoints from laboratory experiments // Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. 159 (105226).
- [6] ZIMMERMAN R., KUMAR S., BODVARSSON G. Lubrication theory analysis of the permeability of rough-walled fractures // , Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 28 (4) (1991) 325–331.