

0.1. Мамазова Д.А. Численное исследование степенной жидкости в трубе со скачком сечения с учетом вязкой диссипации и зависимости эффективной вязкости от температуры

Изучение течения степенной жидкости имеет применение во многих областях, включая нефтегазовую, ракетно-космическую, химическую, пищевую промышленности и металлургию.

В работе численно исследуется неизотермическое, ламинарное, стационарное течение несжимаемой степенной жидкости в цилиндрической трубе с резким изменением поперечного сечения. Задача формулируется в осесимметричной постановке с использованием цилиндрической системы координат. Течение описывается уравнениями в переменных функция тока – вихрь – температура, приведенными к безразмерному виду (уравнение переноса вихря, уравнение Пуассона для функции тока, уравнение энергии). Реологическое поведение жидкой среды описывается модифицированным законом Оствальда — де Ваала, при этом формула для эффективной вязкости зависит от температуры по экспоненциальному закону.

На входной границе заданы профили скорости и температуры, соответствующие одномерному неизотермическому течению рассматриваемой жидкости [1]. На неподвижной твердой стенке используются условия прилипания и задана нулевая безразмерная температура. На выходе реализуются мягкие граничные условия. Стоит отметить, что вход и выход находятся на достаточном удалении от скачка сечения, чтобы исключить влияние последнего на характер течения во входном и выходном участках трубы. На оси симметрии применяются условия симметрии. Степень расширения трубы определяется отношением радиусов широкой к узкой частей трубы.

Для количественного анализа течения вводятся безразмерные геометрические характеристики структуры потока: длина циркуляционной зоны, длины зон двумерного течения до и после скачка сечения. Сформулированная задача решается методом установления на основе конечно-разностной схемы переменных направлений [2, 3]. Метод прогонки используется для вычисления значений искомых функций. Проведен анализ изменения зон двумерного течения в зависимости от числа Пекле, числа Рейнольдса и показателя нелинейности жидкости. Установлено, что увеличение показателя нелинейности приводит к уменьшению длины зоны двумерного течения перед скачком сечения и увеличению длины циркуляционной зоны и длины зоны двумерного течения за скачком сечения, причем более выраженный рост наблюдается при больших значениях числа Пекле. Влияние вязкой диссипации на кинематику течения оценивалось путем сравнения неизотермическо-

го течения степенной жидкости с изотермическим течением. Для двух рассматриваемых случаев поведение зон двумерного течения при варьировании показателя нелинейности жидкости оказалось прямо противоположным. Вязкая диссипация способствует более интенсивному прогреву жидкости в узкой части трубы, а увеличение числа Re обеспечивает рост и смещение прогретой области к выходной границе.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования (проект № FSWM-2020-0036).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шрагер Г. Р.

Список литературы

- [1] BORZENKO E. I., RYLITSEVA K. E., SHRAGER G. R. Non-isothermal steady flow of non-Newtonian fluid in an axisymmetric channel // XXI Winter School on Continuous Media Mechanics. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 581. P. 1–9.
- [2] Годунов С. К., Рявенький В. С. Введение в теорию разностных схем / М.: Физматгиз, 1962. 340 с.
- [3] САМАРСКИЙ А. А. Введение в теорию разностных схем / М.: Наука, 1971. 553 с.