

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕОДНОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ В КРУПНЫХ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ

Д. А. Долгов

Кемеровский государственный университет

В последнее время интерес к математическому моделированию движения крови в искусственных сердечных клапанах человека существенно возрос, в связи с развитием новых методов лечения различных патологий сердечно сосудистой системы. В данной работе мы предлагаем новую математическую модель для описания динамики течения крови в крупных кровеносных сосудах и искусственном сердечном клапане, а также численный метод решения данной задачи. Исследование проводится совместно с НИИ КССЗ (Кемеровский кардиоцентр), в целях улучшения конструкции создаваемых искусственных клапанов.

Рассмотрим нестационарную задачу о течении крови внутри сосуда. Кровь состоит из плазмы и взвешенных в ней форменных элементов. Стенки сосуда являются гибкими и изменяют свою форму под воздействием течения крови. Будем моделировать кровь как вязкую несжимаемую двухкомпонентную жидкость, а стенки сосуда – как непроницаемую поверхность цилиндрической формы, обладающую заданной жесткостью. Задача о течении крови описывается нестационарной системой дифференциальных уравнений Навье-Стокса [1] с переменными вязкостью и плотностью. Т.к. физически кровь является неоднородной, то концентрацию примеси будем описывать уравнением конвекции [1]. Для моделирования динамики гибких стенок сосуда и створок искусственного сердечного клапана определяются силы, возвращающие их в равновесное положение [2].

Для решения полученной задачи воспользуемся методом погруженной границы [2]. Влияние стенок сосуда и клапанов на течение будем учитывать с помощью добавления массовых сил в уравнение движения жидкости [2]. Т.о. алгоритм решения будет следующим - на прямоугольной сетке с помощью схем расщепления по физическим факторам вычисляется значение скорости жидкости; затем решаем уравнение

конвекции, т.е. определяем концентрацию примеси в области решения и пересчитываем значение плотности и вязкости. Далее вводим новую лагранжевую сетку, на которой определяем деформацию сосуда или створок клапана под воздействием движения жидкости, и вычисляем значение сил, противодействующих деформации. После этого находим новое распределение массовых сил в уравнении движения жидкости.

Полученная модель и численный метод решения были применены для задач развития аневризмы сосуда и течения крови в аортальном клапане. В рамках первой задачи были проведены расчеты, демонстрирующие возможность возникновения устойчивой аневризмы, а также ее влияние на распространение примеси. Для второй задачи получены результаты движения клапанов при различных перепадах давления.

-
1. *H. Milosevic, N.A. Gaydarov, Y.N. Zakharov* Model of incompressible viscous fluid flow driven by pressure difference in a given channel // International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 62, July 2013.
 2. *E.G. Boyce* Immersed boundary model of aortic heart valve dynamics with physiological driving and loading conditions // International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering, (2011).

**Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф.
Ю.Н. Захаров**