

УДК 519.63

Долгов Д. А., Захаров Ю. Н.

### **Математическое моделирование работы искусственного сердечного клапана**

В последние годы, в связи с развитием новых методов лечения различных патологий сердечно сосудистой системы, существенно возрос интерес к математическому моделированию движения крови в сосудах и искусственных сердечных клапанах человека. Искусственный сердечный клапан - чрезвычайно сложная система, к работе которой предъявляется множество требований, поэтому математическое моделирование существенно упрощает процесс оптимизации его структуры. В данной работе мы предлагаем 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], который основан на том, что моделирование

---

*Долгов Дмитрий Андреевич* – аспирант, Кемеровский Государственный Университет; e-mail: 9erthalion6@gmail.com

*Захаров Юрий Николаевич* – профессор, доктор физ.-мат. наук, Кемеровский Государственный Университет; e-mail: zacharovyn@rambler.ru

Работа выполнена в рамках проектной части госзадания № 1.630.1.2014/К

обтекания тела возможно с помощью формирования соответствующего поля внешних массовых сил. 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 [3] 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.

## Литература

1. Milosevic H., Gaydarov N.A., Zakharov Y.N. Model of incompressible viscous fluid flow driven by pressure difference in a given channel // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013. Vol. 62, P. 267–274
2. Boyce E. G. Immersed boundary model of aortic heart valve dynamics with physiological driving and loading conditions // International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering, 2011. Vol. 29, No 5, P. 317–345.
3. Долгов Д. А., Захаров Ю. Н. Моделирование движения вязкой неоднородной жидкости в крупных кровеносных сосудах // Вестник Кемеровского Государственного Университета. 2015. № 2 (62) Т.1, С. 30–35