

Э. Ш. Насибуллаева, И. Ш. Насибуллаев, Е. А. Налобина (Уфа, ИМех УФИЦ РАН). **Управление течением жидкости в микроканале с помощью пьезоэлемента.**

В работе численно моделируется течение рабочей жидкости в цилиндрическом микроканале с эластичными стенками, центральная часть которого расположена внутри пьезоэлектрического кольца (пьезоэлемента). Течение индуцируется как деформацией канала пьезоэлементом по гармоническому закону, так и перепадом давления на входе и выходе в микроканал. Целью работы является адаптация трехмерной компьютерной модели, полученной в работе [1], для практического применения — управления режимом течения жидкости в канале с помощью величины перепада давления и частоты сжатия трубки пьезоэлементом.

При полном численном моделировании упругие деформации стенки микроканала определялись с помощью линейных уравнений Ламе [2] с граничными условиями Неймана на поверхности контакта трубки и пьезоэлемента; динамика течения несжимаемой вязкой жидкости изучалась на основе решения уравнений Навье–Стокса [3] с помощью итерационного метода Ньютона с предварительным расчетом по методу Пикарда для повышения устойчивости. Уравнения решались в вариационной форме методом конечных элементов в пакете численного моделирования FreeFem++ [4].

Полное моделирование требует больших затрат машинного времени, поэтому целесообразно построить модель элемента вычислительного стенда, которая позволяет по заданным входным параметрам найти расход жидкости с помощью простых аналитических формул, построенных с помощью аппроксимации результатов расчета по полной модели для отдельных наборов параметров. Моделирование элемента вычислительного стенда позволит проводить вычисления в реальном времени с непосредственной интеграцией в систему управления техническим устройством.

Получены численные результаты расхода жидкости в зависимости от времени, физических свойств жидкости (вязкости и плотности) и внешнего воздействия (величина градиента давления, амплитуда и частота сжатия пьезоэлемента). Построенная аналитическая модель элемента вычислительного стенда в сравнении с полным численным моделированием продемонстрировала высокую точность. Показаны варианты использования полученных результатов в практических приложениях. Например, в системе жидкостного охлаждения полученное соотношение между параметрами системы позволяет определить режим течения, предотвращающий втекание нагретой жидкости через выходное отверстие канала.

Результаты планируется использовать при разработке вычислительного стенда капиллярного микрозахвата, содержащего две трубки (на входе и выходе) с пьезоэлементами, разделив устройство на две части — с динамически изменяемой и неизменной геометриями, — что значительно упростит полное моделирование.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Актуальные проблемы робототехнических систем».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Насибуллаев И. Ш., Насибуллаева Э. Ш., Даринцев О. В.* Изучение течения жидкости через деформируемый пьезоэлементом канал. — Многофазные системы, 2018, т. 13, № 3, с. 1–10.

2. Ландау Л., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика, Т. 7. Теория упругости. М.: Наука, 1987, 248 с.
3. Ландау Л., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика. М.: Наука, 1988, 736 с.
4. Hecht F. New development in FreeFem++. — J. Numer. Math., 2012, v. 20, № 3–4, p. 251–265.