

1 Тема работы

Численное моделирование двухфазного течения в микроканалах с использованием открытой платформы для решения задач механики сплошных сред OpenFOAM.

2 Состав коллектива

Роньшин Федор Валерьевич, f.ronshin@gmail.com, к. ф.-м. н., Лаборатория энергоэффективных технологий для наземных и космических применений ИТ СО РАН (руководитель гранта)

Лукьянов Андрей Александрович, студент 4 курса ФФ НГУ, кафедра физики неравновесных процессов НГУ; a.lukyanov1@g.nsu.ru (исполнитель)

3 Информация о гранте

Грант РФФИ № 21-79-10357, Высокоэффективные теплообменные системы на основе фазового перехода в плоских и прямоугольных мини- и микроканалах

4 Аннотация

Проведено экспериментальное и численное исследование пузырей тейлора миниканале квадратного сечения со стороной 1 мм. Показано, что экспериментальные результаты и численное моделирование находятся в согласии. Получено распределение скоростей в жидкости и газе. Показано, что вблизи пузырей наблюдаются структуры, которые могут влиять на трение и теплообмен.

5 Научное содержание работы:

5.1 Постановка задачи

Для расчётов использовался решатель *interFoam* из стандартного пула солверов кода OpenFOAM. Моделирование проводилось с использованием системы уравнений, основанной на уравнениях Навье – Стокса для несжимаемой ньютоновской жидкости. Для отслеживания границы раздела двух фаз, используется метод объема жидкости (VOF).

5.2 Современное состояние проблемы

В настоящее время происходит революционное развитие микроканальных систем. В таких системах чрезвычайно важно определить двухфазные схемы течения в зависимости от расхода газа и жидкости. Одной из актуальных задач теплофизики в наши дни является проблема охлаждения микроэлектронного оборудования. Разрабатываются компоненты микроэлектроники, микроэлектромеханические системы (МЭМС, микросистемы, микромашины), представляющие собой трехмерные мини- и микрообъекты, в которых характерные размеры элементов составляют миллиметры или микроны, где наблюдаются высокие тепловые потоки (до 1 кВт/см²).

Список литературы: Investigation of two-phase flow patterns in square minichannels with different mixers created using additive technologies Fedor Ronshin, Yuriy Dementyev, Dmitry Kochkin, Karapet Eloyan, and Ivan Vozhakov

5.3 Подробное описание работы, включая используемые алгоритмы

В данной работе расчетная область построена в виде параллелепипеда со стороной $R=1$ мм и длиной $L=15$ мм. Расчетная сетка генерируется при помощи встроенной в OpenFOAM утилиты *blockMesh*. В сечении сетка состоит из пяти блоков (рис.1).

Центральный блок представлен в виде равномерной сетки. Пристеночный блок выполнен со сгущением к стенке так, что минимальная и

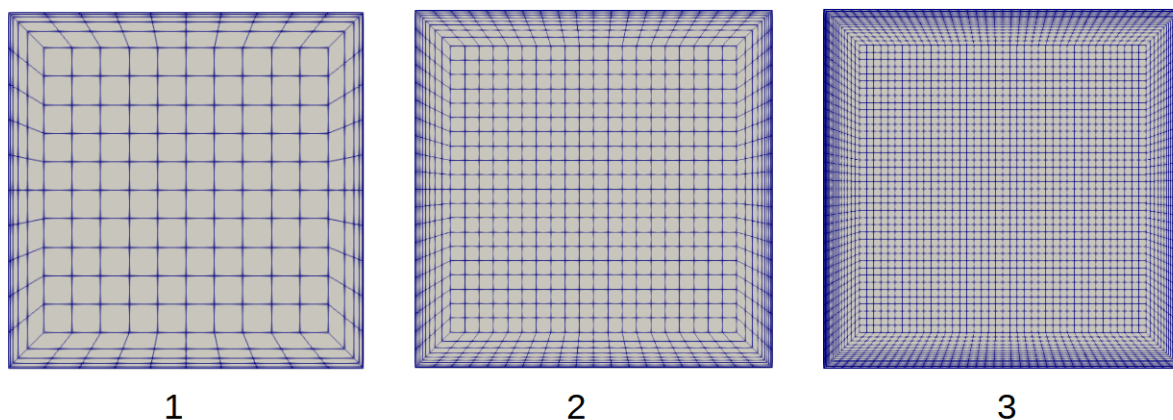


Рис. 1: Вид расчетной области в сечении канала: 1 - сетка 60к элементов; 2 - сетка 480к элементов; 3 - сетка 3 840к элементов

максимальная ячейки отличаются в 10 раз. Вдоль канала сетка была равномерная. Сходимость сетки проверялась серией расчетов для соотношения расходных значений скорости жидкости и газа 0.4 и 0.3 м/с соответственно (Fig. 1). Начальная наиболее грубая сетка содержала 60 000 элементов. Далее количество элементов расчетной области увеличивалось в два раза по каждому направлению, а затем в 4 относительно исходной сетки. Полученные сетки содержали 480 000 и 3 840 000 элементов, соответственно. Толщина пристеночной ячейки для разных сеток составляла 4.65 мкм, 2.45 мкм, 1.25 мкм.

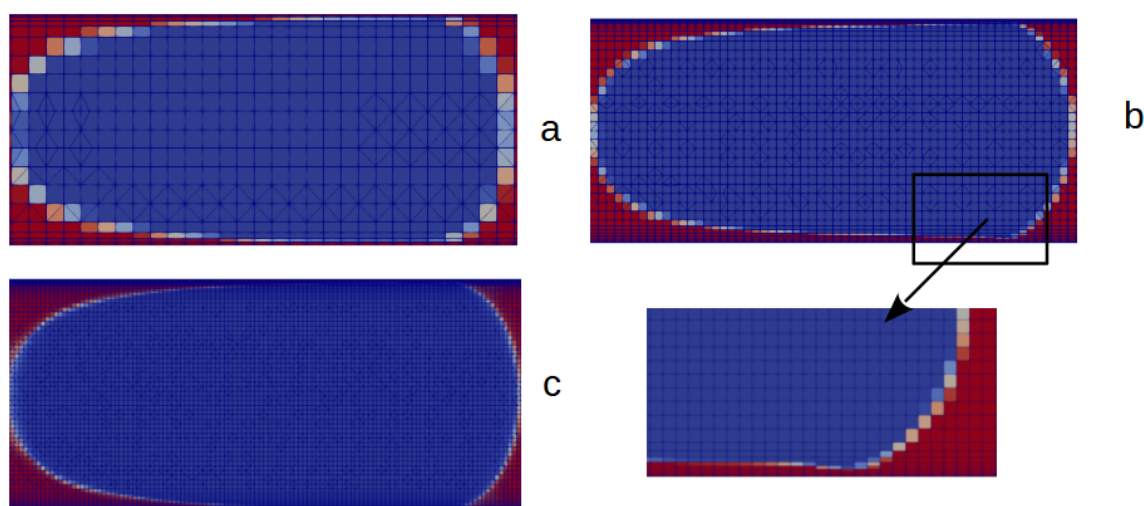


Рис. 2: сравнение пузырей в зависимости от размера сетки: а - сетка 60к элементов; б - сетка 480к элементов; с - сетка 3 840к элементов

В начальный момент времени распределение фаз внутри канала задавалось при помощи встроенной утилиты *setFields*. Внутри расчётной области

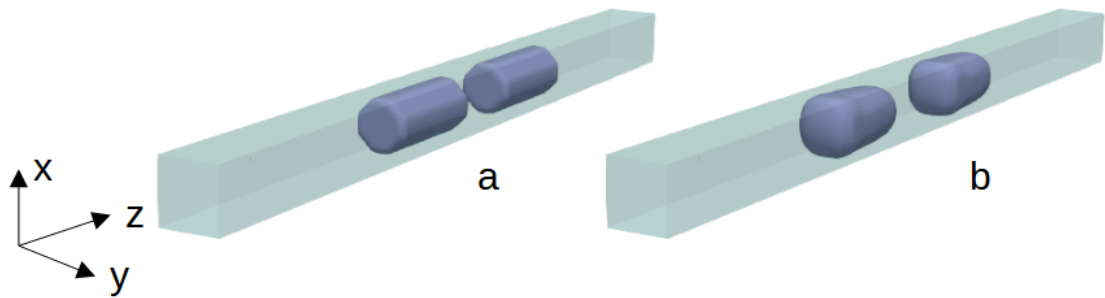


Рис. 3: Вид начальной геометрии газовых пузырей для соотношения расходных скоростей жидкости и газа 0.4 и 0.3 соответственно: а- начальный момент времени; б - момент времени 0.01 с

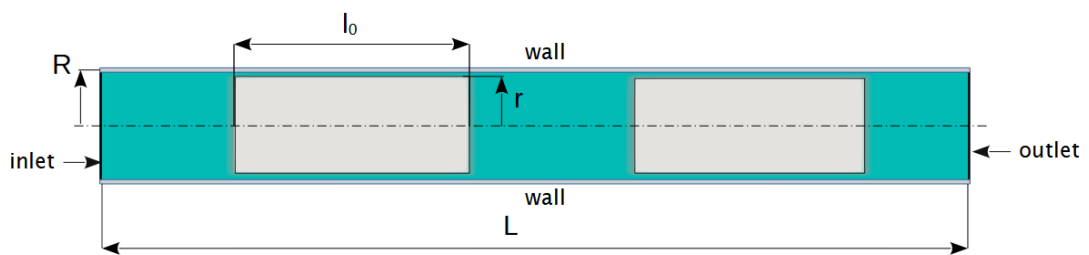


Рис. 4: начальные граничные условия

помещалось несколько цилиндрических газовых пузырей в зависимости от расчета (2-3 шт.) (Fig. 3). Радиус цилиндров составлял 0.45 мм, а их длина менялась в зависимости от расчета. В ходе расчета достигалось квазистационарное положение и форма пузырей. Длина начальных пузырей подбиралась таким образом, чтобы после установления равновесной формы длина соответствовала экспериментально полученным значениям. Максимальное отличие в длинах пузырей составило 4.7 %.

В таблице 2 представлены граничные условия на поверхностях расчётной области. Геометрия канала с основными обозначениями границ и размеров показана на Fig. 4, на котором l_0 is a длина цилиндров, r is a cylinder radius, R радиус канала и L длина канала.

Поскольку канал имел ограниченную длину, расчеты проводились таким образом, чтобы пузырь был неподвижен относительно границ области. Для этого использовано граничное условие подвижной стенки, скорость которой равна экспериментально полученной скорости пузыря. Таким образом, расчет был проведен в системе отсчета пузыря. При этом на границе inlet скорость жидкости задавалась как разность между скоростью

пузыря и средней скоростью потока.

Таблица 1: **Граничные условия** (в обозначениях OpenFOAM)

	wall	inlet	outlet
$U, \frac{m}{c}$	movingWallVelocity	$U_w - (U_l + U_g)$	zeroGradient
$P, \text{Па}$	zeroGradient	zeroGradient	fixedValue 0
α	constantAlpha-ContactAngle 0	fixedValue 1	fixedValue 1

В таблице 2: zeroGradient - граничное условие устанавливает нулевое значение градиента на стенку; fixedValue - граничное условия устанавливает фиксированное значение поля; constantAlphaContactAngle 0 - задает значение нулевого контактного угла на стенках канала.

5.4 Полученные результаты

Для более детального исследования структуры потока Тейлора выполнено численное моделирование указанного режима для полученных экспериментально параметров течения. Сопоставление экспериментальных и численных результатов происходило на основании равенства длин пузырей и перемычек, расходов жидкости и скорости пузырей. Т.е. тех параметров, которые могли быть измерены в эксперименте.

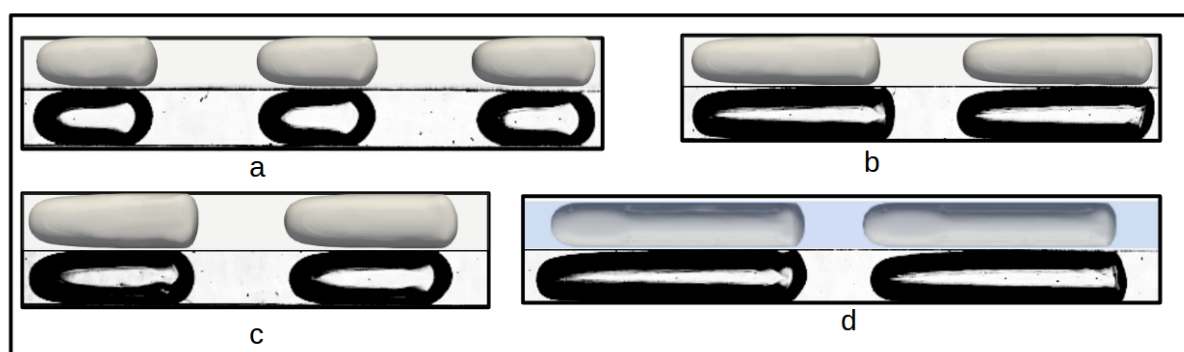


Рис. 5: сравнение экспериментальных и численных результатов для различных форм и длин пузырей: a - 0.302; b- 0.304; c - 0.303; d- 0.305

На рисунке 5 - 7 представлено сравнение формы пузырей для всех расходных скоростей, полученных экспериментально и численно.

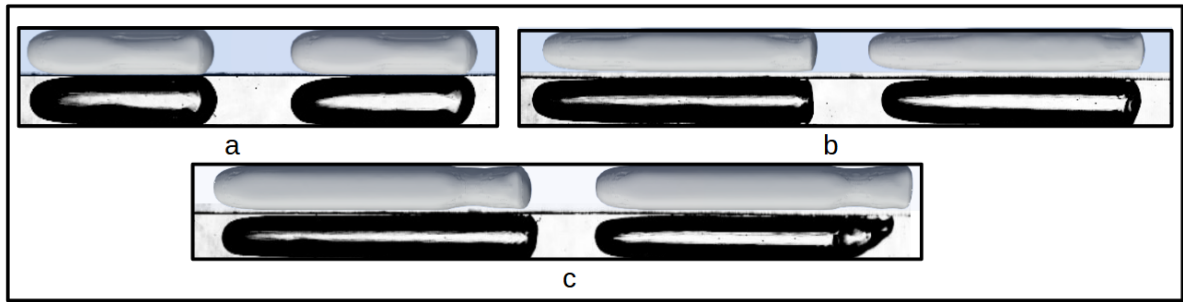


Рис. 6: сравнение экспериментальных и численных результатов для различных форм и длин пузырей: а - 03 06; б - 03 07; с - 03 08

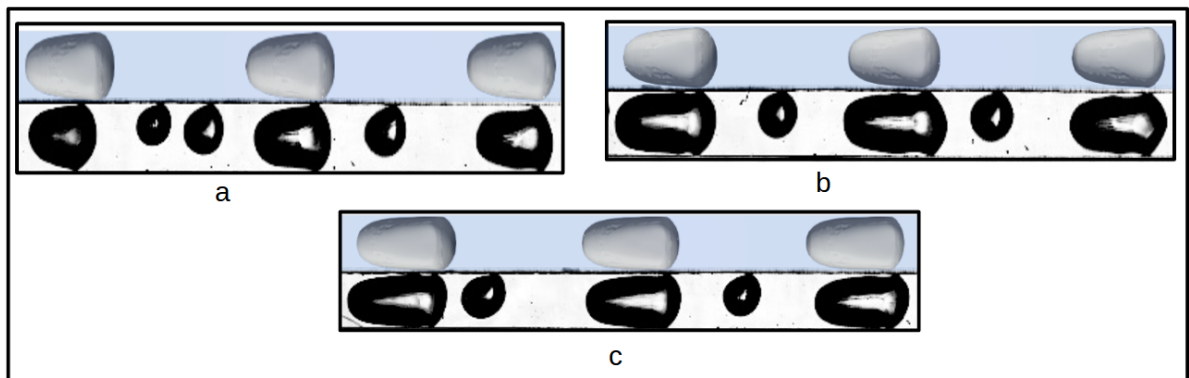


Рис. 7: сравнение экспериментальных и численных результатов для различных форм и длин пузырей: а - 07 03 ; б - 06 03; с - 05 03

6 Эффект от использования кластера в достижении целей работы

Численное моделирование двухфазных течений является достаточно ресурсоёмким процессом, в особенности при использовании подробных сеток для расчета пленки жидкости вблизи стенки. Для корректного расчета таких течений необходимы большие вычислительные затраты. Поэтому возникает необходимость использования параллельных вычислений на кластерах. Работа на кластере помогла уменьшить длительность вычислительных расчетов в несколько раз, тем самым ускорить проводимые исследования в рамках данной работы.