

1 Тема работы

Численное моделирование волнового режима течения слоя жидкости под действием турбулентного газового потока

2 Состав коллектива

Апостол Юлия Сергеевна, студент ФФ НГУ, бакалавр.

3 Аннотация

Работа посвящена моделированию волнового режима течения слоя жидкости под действием турбулентного газового потока. Аналитическое описание затруднительно в силу необходимости учета большого количества параметров, на данные эксперимента могут влиять различные факторы, поэтому задача о моделировании таких явлений актуальна. Целью работы было исследование взаимного влияния газовой и жидкой фаз в волновом режиме течения.

Работа делится на две логические части: моделирование течения турбулентного газового над волнистой стенкой (так отслеживается влияние волнистости на свойства газового потока - вспомогательная часть) и моделирование задачи и волновом режиме течения жидкого слоя под действием турбулентного газового потока (так можно отследить влияние турбулентности в газе на волны, образующиеся на поверхности). В первой части моделирование проведено совместно с подходами RANS (решение уравнений Навье-Стокса, усредненных по Рейнольдсу) и LES (метод крупных вихрей) моделирования турбулентности. Во второй - с DNS (прямое численное моделирование) в двумерной постановке.

4 Научное содержание работы

1. Постановка задачи

После проведения тестовых исследований на решение течения газа над волнистой твердой стенкой и выяснения его поведения (см. статья в

списке публикаций) были проведены расчеты двухфазной задачи - совместного течения газа и жидкости. Моделирование основано на численном решении уравнений Навье – Стокса. Для однофазных расчётов использовался решатель `pimpleFoam`, имплементированный в платформу с открытым исходным кодом `OpenFOAM`. Моделями турбулентности служили RANS $k-\omega$ SST (Reynolds-Averaged Navier-Stokes $k-\omega$ Shear Stress Transport) и LES WALE (Large Eddy Simulation Wall-Adapting Local-Eddy viscosity).

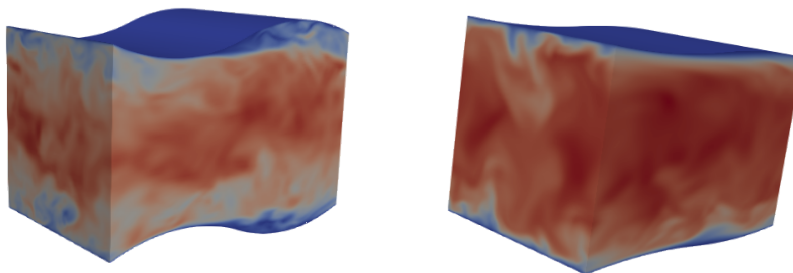


Рис. 1: Поле скорости в решении задачи обтекания газом твердой волнистой стенки

Поставлена двумерная задача моделирования волн на поверхности жидкости для различных скоростей газового потока. Необходимо исследовать взаимное влияние обеих фаз. Для расчётов использовался решатель `interFoam`, имплементированный в платформу с открытым исходным кодом `OpenFOAM`. Для отслеживания границы раздела двух фаз используется метод объема жидкости.

2. Современное состояние проблемы (на момент начала работы)

Существует несколько подходов к исследованию данного явления: аналитическое описание, экспериментальное исследование, численное моделирование. Возможность решать задачу о стратифицированном течении численно появилась относительно недавно в силу высокой ресурсоза-

тратности. Актуален вопрос влияния турбулентных пульсаций на межфазную границу.

3. Подробное описание работы, включая используемые алгоритмы В работе используется пакет с открытым исходным кодом OpenFOAM, основанный на решении уравнений Навье-Стокса с использованием метода конечных объемов. В качестве солвера выбран `interFoam`, позволяющий разрешать изотермические течения несжимаемых несмешивающихся флюидов. Алгоритм, позволяющий связать давление и скорость - PIMPLE - комбинация PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operator) и SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations). Аппроксимация межфазной границы проведена с помощью метода объема жидкости (VoF - Volume of Fluid). Турбулентность моделировалась согласно подходу прямого численного моделирования. Длина расчетной области составляла 10 см, ширина - 2,6 см. Расчетная сетка составляла порядка 1 миллиона ячеек и генерировалась при помощи встроенной в OpenFOAM утилиты `blockMesh`. В начальный момент времени распределение фаз внутри канала задавалось при помощи встроенной утилиты `setFields`.

На вход и выход из канала были поставлены периодические граничные условия, сверху и снизу поставлены условия прилепания и непротекания как условия на твердой стенке. Скорость потока поддерживалась за счет градиента давления.

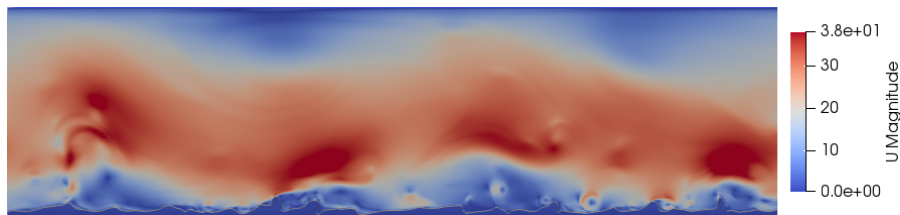


Рис. 2: Поле скорости в волновом режиме течения при скорости газового потока 20 м/с

4. Полученные результаты

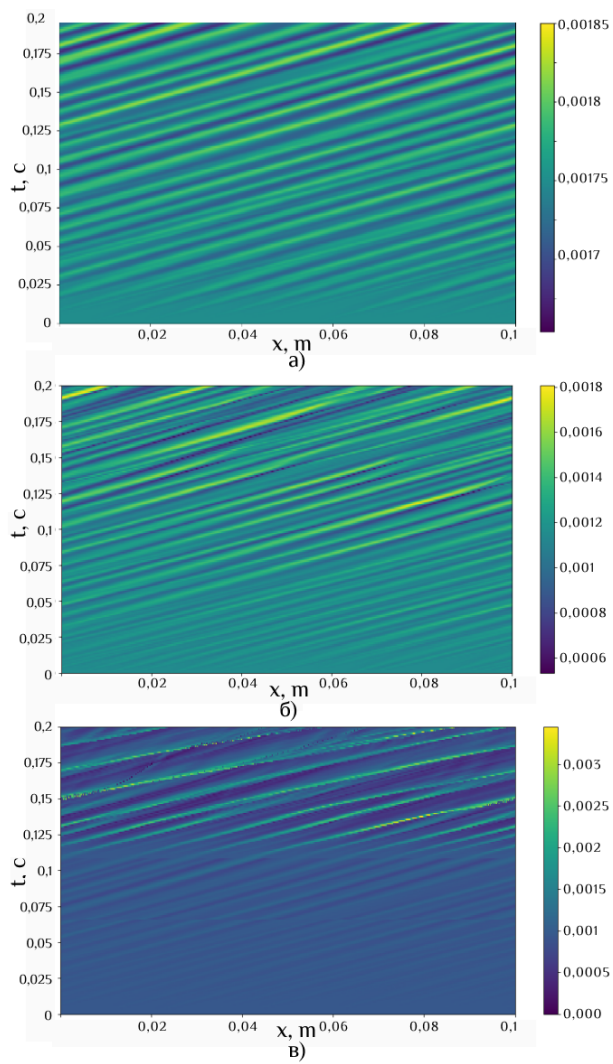


Рис. 3: Эволюционные (x-t) диаграммы для различных скоростей газового потока: а) 12 м/с, б) 16 м/с, в) 20 м/с

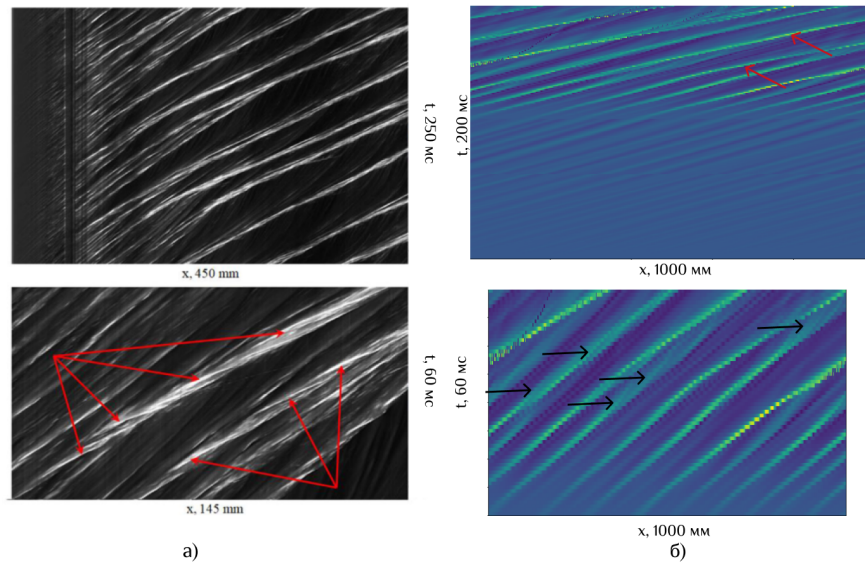


Рис. 4: Эволюционные (x-t) диаграммы. Сравнение эксперимента из статьи Fan, Cherdantsev, Anglart (2020) при скорости газа 18 м/с (слева) и численного моделирования (слева) при скорости газа 20 м/с. Черные стрелки - медленная рябь, красные - быстрая

5 Эффект от использования кластера в достижении целей работы

Численное моделирование турбулентных течений - ресурсозатратный процесс. Решением может стать распараллеливание задач. Часть вычислений, используемых в выпускной квалификационной работе, была выполнена с использованием кластера НГУ (однофазное обтекание газом твердой волнистой стенки, прямое численное моделирование двухфазного двумерного течения).

6 Перечень публикаций, содержащих результаты работы

Апостол Ю. С., Вожаков И. С. Численное моделирование турбулентного газового потока над волнистой поверхностью //Сибирский журнал индустриальной математики. – 2023. – Т. 26, – № 2. – С. 5–13.