

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра математического и компьютерного моделирования

Стандартные решатели OpenFOAM в задаче обтекания цилиндра

**Автореферат бакалаврской работы**

студента 4 курса 413 группы

направления 01.03.02 Прикладная математика и информатика  
код и наименование направления (специальности)

механико-математического факультета

наименование факультета, института, колледжа

Левина Ярослава Игоревича

фамилия, имя, отчество

зав. каф, д.ф. – м.н.

Ю. А. Блинков

зав. каф, д.ф. – м.н.

Ю. А. Блинков

Саратов 2017

## **ВВЕДЕНИЕ**

Гидродинамика – это наука о движении жидкости (или газа). С точки зрения математического описания движения текучих сред, нет разницы между жидкостью и газом. Иногда жидкостью называют несжимаемую среду, а газом называют среду, у которой плотность существенно меняется. Жидкость – такое состояние физической среды, при котором она легко деформируется под действием внешних и внутренних сил. При описании движения элементарных объемов жидкости в гидромеханике не рассматривается движение молекул. В связи с этим истинное молекулярное строение жидкости в гидромеханике заменено упрощенной схемой. В 1753 г. Эйлер в качестве модели жидкости предложил принять сплошную жидкую среду. Таким образом, считается, что жидкость сплошь заполняет занимаемое пространство без образования каких бы то ни было пустот. В отличие от твердого (упругого) тела жидкость не оказывает сопротивления статическим сдвиговым нагрузкам, и поэтому объему жидкости легко придать любую форму (например, налить в сосуд произвольной формы). В то же время жидкость способна сопротивляться нормальным напряжениям растяжения или сжатия, иногда даже в большей степени, чем твердые тела. Данное свойство жидкости широко используется в разнообразных гидравлических устройствах, например в гидравлических прессах и домкратах.

В гидродинамике рассматриваются математические модели течений жидкости и газа в различных условиях. Первой простейшей моделью гидродинамики является система уравнений движения несжимаемой однородной жидкости, выведенная в 18 веке Леонардом Эйлером, исходящим из законов механики Ньютона и закона Паскаля.

Обращение движения – это прием, который используется в гидродинамике для решения задач о движении тел в жидкости. Суть состоит в следующем: вместо того, чтобы рассчитывать движение тела в покоящейся жидкости, рассматривают неподвижное тело, обтекаемое потоком. В решение задач гидродинамики входит определение интегральных характеристик действия жидкости на обтекаемые ею тела.

# **1 Общая структура работы**

## **1.1 Актуальность работы**

Обтекание вокруг тела, в силу высокой технической значимости, стало одной из самых привлекательных тем для исследований за последние 100 лет. Авиационно-космическое проектирование, жилищное и автотранспортное строение, морские структуры, термоэлектрическое охлаждение, теплообменные структуры, прогноз погоды, изучение фильтрации грунтовых вод и нефти и организации их добычи, акустическая эмиссия - это лишь часть перечня областей для которых актуально решение данной задачи. Так же интересуется структурированием течений, анализом сил действующих на тело, механизмом вихреобразования и вопросами устойчивости моделей. В результате увеличения вычислительных мощностей и появления новых расчетных методов в последние десятилетия, эта задача получила повышенное внимание со стороны огромного количества числовых и экспериментальных исследований. Помогает в подобных исследованиях и расчетах открытая интегрируемая платформа, именуемая OpenFOAM.

## **1.2 Цели и задачи работы**

Целью данной работы является изучение и практическое применение программы OpenFOAM для решения задачи обтекания цилиндра. Задачи в рамках поставленных целей:

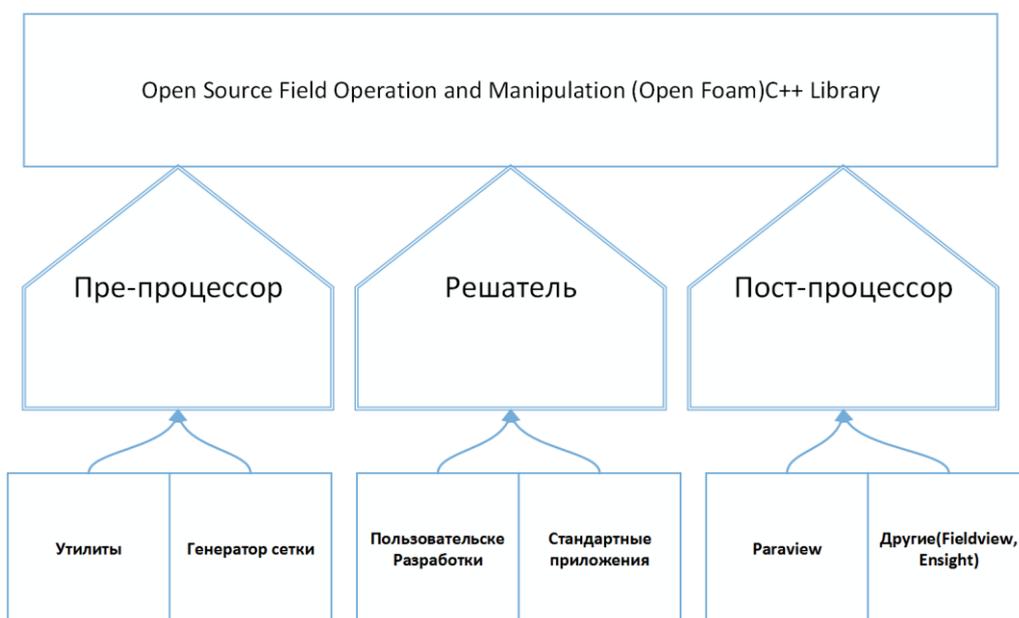
- Ознакомление с OpenFOAM и дополнительными пакетами.
- Постановки задачи.
- Подготовка сетки.
- Решение задачи.
- Визуализация.

## 1.3 Практическая значимость работы

Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить вычислительные эксперименты, в тех случаях когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий или могут дать непредсказуемый результат. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет определить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта-оригинала, в частности, исследовать отклик моделируемой физической системы на изменения её параметров и начальных условий.

## 2 Содержание бакалаврской работы

### 2.1 OpenFOAM



OpenFOAM — свободно распространяемый инструментальный вычислительной гидродинамики для операций с полями (скалярными, векторными и тензорными). На сегодня является одним из «законченных» и известных приложений, предназначенных для FVM-вычислений. Первоначально программа предназначалась для прочностных расчетов, но в результате многолетнего академического и промышленного развития на сегодняшний момент позволяет решать множество различных задач механики сплошных сред, в частности:

- Гидродинамика ньютоновских и неньютоновских вязких жидкостей как в несжимаемом, так и сжимаемом приближении с учётом конвективного теплообмена и действием сил гравитации.

- Задачи, связанные с деформацией расчётной сетки.
- Прочностные расчеты.
- Некоторые другие задачи, при математической постановке которых требуется решение дифференциальных уравнений в частных производных в условиях сложной геометрии среды.

В основе пакета лежит набор библиотек, предоставляющих инструменты для решения систем дифференциальных уравнений в частных производных как в пространстве, так и во времени. Рабочим языком кода является ООП C++. В терминах данного языка большинство математических дифференциальных и тензорных операторов в программном коде (до трансляции в исполняемый файл) уравнений может быть представлено в удобочитаемой форме, а метод дискретизации и решения для каждого оператора может быть выбран уже пользователем в процессе расчёта. Таким образом, в коде полностью инкапсулируются и разделяются понятия расчётной сетки (метод дискретизации), дискретизации основных уравнений и методов решения алгебраических уравнений.

## 2.2 Постановка задачи

Задача определяется следующим образом:

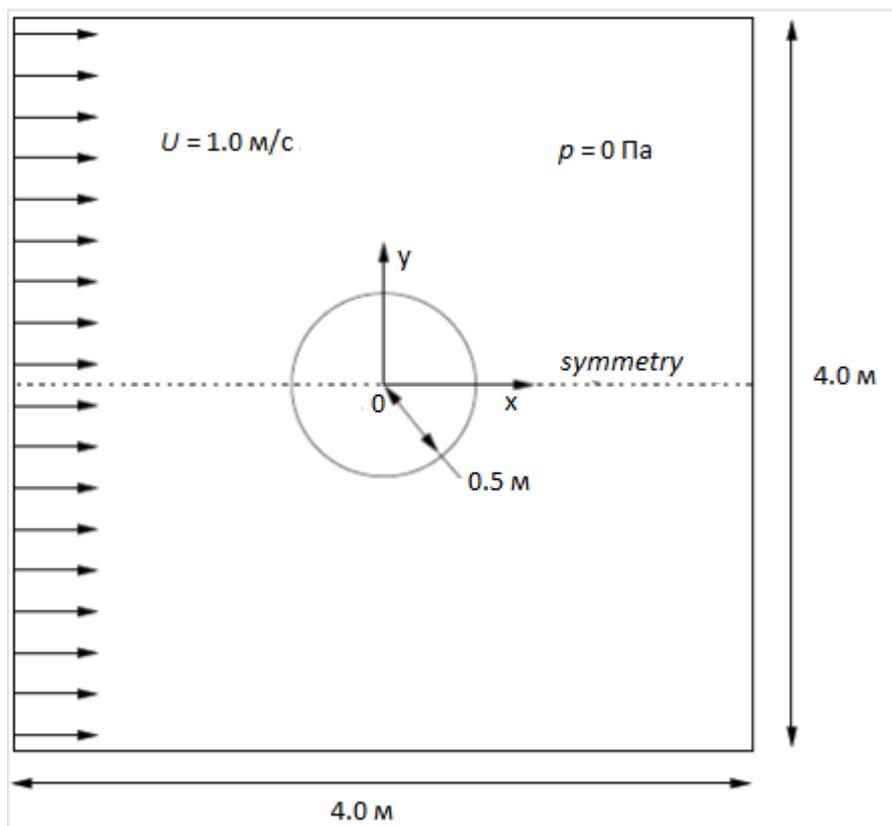


Рисунок 2.1. Геометрия потока вокруг цилиндра

Эта область в соответствии с рисунком 2.1 имеет 2 измерения и состоит из квадрата с цилиндром, расположенным в его центре. Содержит начальные и граничные условия:

- Входные (слева) с фиксированной скоростью  $U = (1, 0, 0)$  м/с.
- Выходные (справа) с фиксированным давлением  $p = 0$  Па.
- Несмачиваемая стенка (дно).
- Плоскость симметрии (вершина).
- $U = 0$  м/с.
- $p = 0$  Па.

### 2.3 Подготовка сетки

Сетка создается при запуске утилиты blockMesh, использующей файл blockMeshDict. Запуск на выполнение производится внутри директории задачи, причем это делается, просто набором команды на терминале: blockMesh.

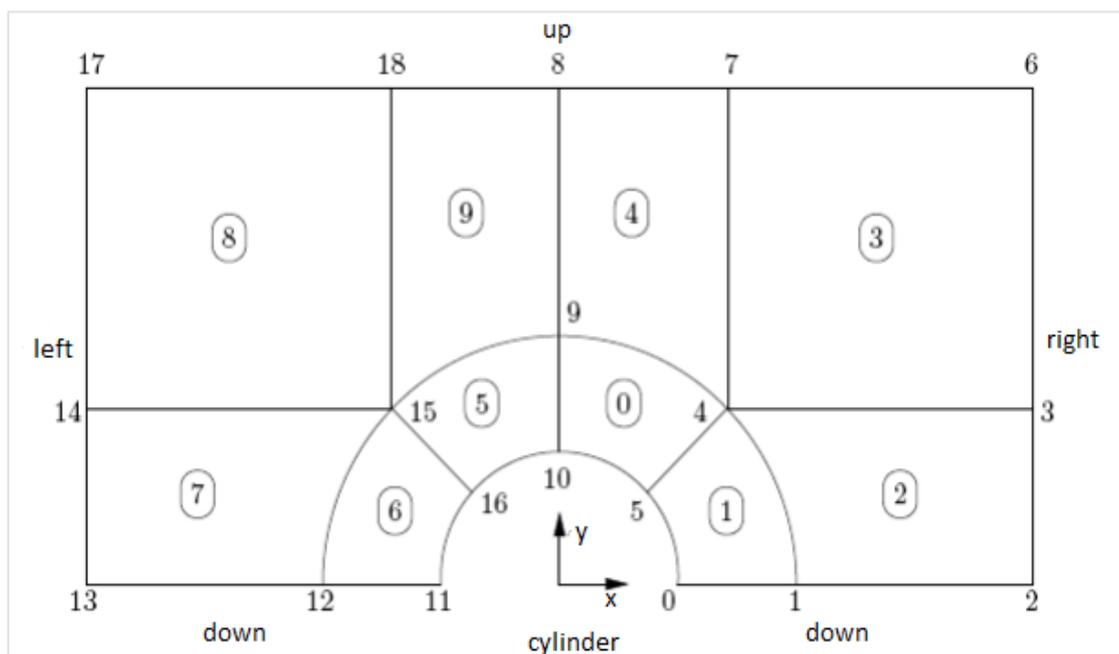


Рисунок 2.2. Блоки в геометрии цилиндра

В случае обтекания цилиндра сетка состоит из 10 блоков, как показано в соответствии с рисунком 2.2. следует помнить, что все сетки в OpenFOAM считаются 3-х мерными. Если нужно решать 2-х мерную задачу, то

обязательно описать 3-х мерную сетку так, что толщина только одной ячейки по третьей оси не учитывается. В соответствии с рисунком 2.2 показана только задняя плоскость такой геометрии, по оси  $z = -0.5$ , а количество вершин пронумерованы 0-18. Остальные 19 вершин на передней плоскости,  $z = +0.5$ , пронумерованы так же, как и на задней

## 2.4 Решение задачи

После того, как в этой задаче поток предполагается несжимаемым и невязким, не требуется обозначать никаких свойств жидкости.

Солвер `potentialFoam` выполняет итерационный цикл для уравнения давления, которое решается так, что явные члены, относящиеся к неортогональной коррекции в члене с лапласианом, могут обновляться в последующих итерациях. Число итераций для уравнения давления контролируется с помощью ключа `nNonOrthogonalCorrectors` в `controlDict`.

Сначала мы можем установить `nNonOrthogonalCorrectors` в 0 так, что ни один цикл не выполняется, то есть уравнение давления решено один раз и неортогональная коррекция отсутствует.

Ожидаем, что решение покажет гладкие линии течения, проходящие через данную область, тем не менее, здесь, очевидно, имеется ошибка на участках, где присутствует значительная неортогональность сетки, например, в месте соединения блоков 0, 1 и 3. в этом случае решение выполняется повторно с некоторой неортогональной коррекцией посредством задания величины `nNonOrthogonalCorrectors`, равной 3.

Возможные различия между аналитическим и численным решениями в верхней части плоскости, могут быть вызваны тем, что аналитическое решение предполагает бесконечную границу, а численное решение определяет граничное условие как `zeroGradient` на границе.

## 2.5 Визуализация итогов

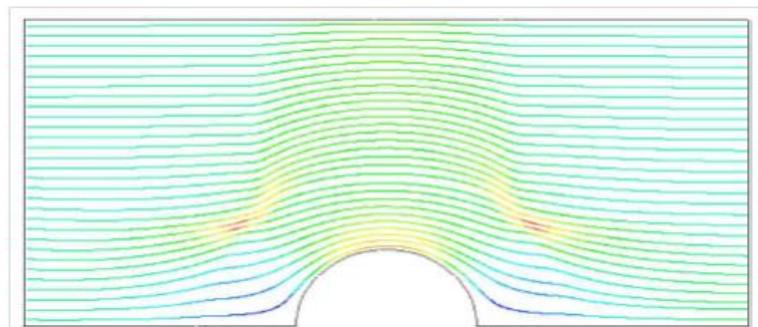


Рисунок 2.3. Линии течения потенциального потока без неортогональной коррекции

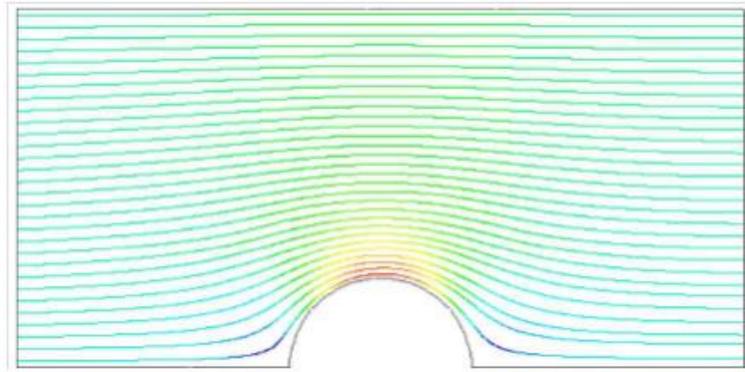


Рисунок 2.4. Линии течения потенциального потока неортогональной коррекцией

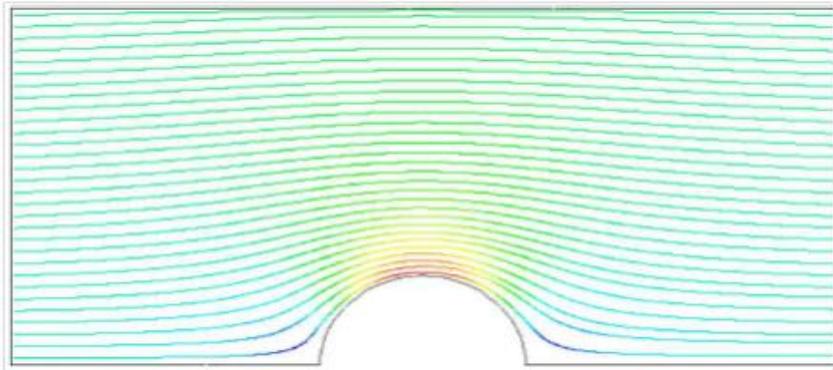


Рисунок 2.5 Аналитическое решение

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, как было сказано ранее, вопросы движения жидкостей уже давно волнуют ученых. Модели механики сплошных сред могут быть невероятно трудными, затратными и на выходе можно получить неточный результат.

Пакет OpenFOAM позволяет максимально минимизировать временные, финансовые и трудовые издержки для решения подобных задач. Так же на выходе мы получаем максимально точный результат с минимальной погрешностью. В основе пакета лежит набор библиотек, предоставляющих инструменты для решения систем дифференциальных уравнений в частных производных как в пространстве, так и во времени.

В ходе работы, мною были получены следующие основные результаты:

- Построена модель движения цилиндра потенциальным потоком невязкой жидкости в пакете OpenFOAM.
- На базе пакета OpenFOAM выполнен численный эксперимент по обтеканию цилиндра невязкой жидкостью.
- Показаны графически численное и аналитическое решения.