Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт математики и механики им. Н. И. Лобачевского

Направление: 01.04.03 – Механика и математическое моделирование

ОТЧЕТ ПО ОЗНАКОМИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ

Обучающийся Закиев Ислам Ильнурович 5-411 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(ФИО студента) (Группа) (Подпись)

Руководитель практики

от кафедры проф., д.ф-м.н каф. аэрогидромеханики, Маклаков Д. В.

(Должность, ФИО)

Оценка за практику \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Подпись)

Дата сдачи отчета \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Казань – 2025

Руководитель практики от Университета

проф., д.ф-м.н каф. аэрогидромеханики, \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Маклаков Д. В.

(должность, ученое звание) (подпись) (ФИО)

С индивидуальным заданием (календарным планом(графиком)), с программой практики по соответствующему практике направлению подготовки (специальности) ОЗНАКОМЛЕН(А)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_Закиев И.И.

(подпись) (ФИО обучающегося)

**Оглавление**

[1. Введение 4](#_Toc189647549)

[2. Постановка задачи Стокса 6](#_Toc189647550)

[3. Постановка задачи движения инерционных частиц 8](#_Toc189647551)

[3.1. Уравнение движения частиц 8](#_Toc189647552)

[3.2. Условие захвата частиц 8](#_Toc189647553)

[3.3. Метод решения 9](#_Toc189647554)

[4. Результаты 10](#_Toc189647555)

[5. Список литературы 12](#_Toc189647556)

# Введение

В данной работе исследуется влияние частиц на поле течения при различных значениях числа Стокса. Понимание динамики потоков, содержащих частицы, имеет важное значение в различных областях науки и техники, таких как химическая инженерия, аэродинамика и экология. Число Стокса является ключевым параметром, характеризующим инерцию частицы в потоке. Оно определяется как отношение времени релаксации частицы к характерному времени потока и позволяет оценить, насколько быстро частица реагирует на изменения в потоке. При малых значениях частица быстро адаптируется к изменениям скорости потока, тогда как при больших значениях частица обладает значительной инерцией и медленнее реагирует на изменения в потоке. Таким образом, число Стокса играет важную роль в определении траектории частицы и её влияния на поле течения.

На данный момент, цель данного исследования — изучить, как частицы с различными значениями числа Стокса влияют на структуру потока и построить поле массовых сил. Для этого будут использованы уравнения движения частицы, которые описывают её траекторию в потоке. Эти уравнения учитывают разницу между скоростью частицы и скоростью потока, а также инерцию частицы, выраженную через число Стокса. Решение данных уравнений позволит определить, как частицы будут двигаться в потоке и как их присутствие будет влиять на распределение скоростей и давления жидкости.

Для достижения поставленной цели будет использоваться численный метод Рунге-Кутта. Метод Рунге-Кутта является одним из наиболее точных и широко используемых методов численного интегрирования дифференциальных уравнений. Численное моделирование будет проведено для различных значений числа Стокса, что позволит проанализировать влияние частиц на поле течения в широком диапазоне условий.

В результате проведенного исследования будут получены данные о траекториях частиц и изменениях в структуре потока при различных значениях числа Стокса. Эти данные позволят сделать выводы о влиянии частиц на поле течения и предложить рекомендации для оптимизации процессов, связанных с многофазными потоками. Результаты данного исследования могут найти применение в различных областях, таких как химическая инженерия, аэродинамика, экология и другие, где важную роль играют процессы взаимодействия частиц и потоков.

# Постановка задачи Стокса

Рассмотрим двумерное течение несжимаемой вязкой жидкости в периодической ячейке рис. 1, со сторонами и , с непроницаемым твердым телом радиуса при малых числах Рейнольдса.

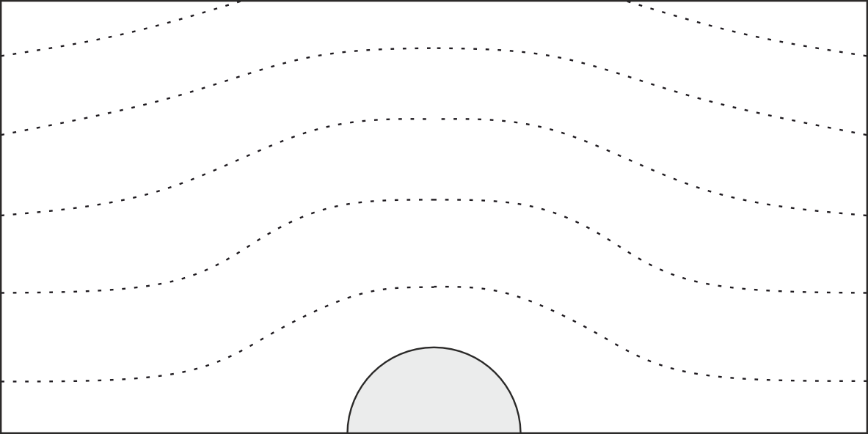


Рис. 1 Периодическая ячейка

В силу невысокой скорости и малого числа Рейнольдса, течение можно будет описать с помощью моделя Стокса, для которой функция тока удовлетворяет уравнению

На нижней и верхней границе и задается условие симметрии и, при помощи функции тока , расход в данном контуре:

На вертикальных границах и задается условие периодичности:

На поверхности твердого тела будет выполняться условие прилипания:

где внешняя нормаль.

Безразмерные параметры и необходимо подбирать таким образом, чтобы поле течение в области левой границе являлось ламинарным.

# Постановка задачи движения инерционных частиц

# Уравнение движения частиц

В рамках задачи Стокса сила сопротивления частицы определяется следующим образом:

,

где динамическая вязкость среды, скорость частицы, скорость потока жидкости, диаметр частицы.

Уравнение движения частицы записывается через второй закон Ньютона:

где масса частицы.

После обезразмеривания уравнений на высоту области и среднюю скорость потока получаем следующую систему уравнений:

где безразмерные координаты частицы, безразмерная скорость потока газа, безразмерная скорость частицы, число Стокса, характеризующее инерцию частицы, время релаксации частицы.

# Условие захвата частиц

Частица считается захваченной фильтром, если она соприкасается с любым волокном. Условие захвата частиц можно записать следующим образом:

где координаты частицы, координаты центра волокна, – диаметр частиц, – диаметр волокна

# Метод решения

Для решения уравнений движения частиц используется метод Рунге-Кутты-Вернера 5(6)-го порядка точности. Этот метод позволяет автоматически подбирать шаг интегрирования, что ускоряет расчеты и повышает их точность. Метод Рунге-Кутты-Вернера является адаптивным, что позволяет ему динамически изменять шаг интегрирования в зависимости от сложности задачи, обеспечивая высокую точность при минимальных вычислительных затратах.

# Результаты

В результате численного моделирования будут получены траектории частиц и определена эффективность их осаждения в зависимости от числа Стокса. На рис. 2-4 представлены траектории частиц для трех различных чисел Стокса. Безразмерные параметры и взяты 2 и 10 соответственно, количество частиц .



Рис. 2 Траектории частиц при N=50, St = 100



Рис. 3 Траектории частиц при N=50, St = 10



Рис. 4 Траектории частиц при N=50, St = 1

Эффективность осаждения определяется как отношение количества осажденных частиц к общему количеству частиц

Результаты эффективности улавливания частиц можно наблюдать на рис. 5.



Рис. 5 Эффективность улавливания частиц в зависимости от числа Стокса. наше решение, решение, представленное в статье [1]

# Список литературы

1. Эффективность уравнения инерционных аэрозольных частиц в периодической ячейке с пористым цилиндром / А.Р. Хазиев, Ш.Х. Зарипов, Р.Ф. Марданов, А..Г. Пилюгин // Ученые записи Казанского Университета. Серия физико-математических наук – 2022. – Vol. 13. – Pp 1-13.