

Санкт-Петербургский государственный университет
Кафедра гидроаэромеханики

БАТАЛОВ Семен Алексеевич

Пакеты прикладных программ

***Численное моделирование дозвукового нестационарного течения около
цилиндра пулевидного сечения. Вихри Кармана***

Уровень образования: магистратура

Направление: 01.04.03 «Механика и математическое моделирование»

Основная образовательная программа:
«Механика и математическое моделирование»

Научный руководитель:
доктор физ.-мат. наук, профессор
Кустова Е. В.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

1. Введение	3
2. Параметры области моделирования	4
3. Вычислительные сетки	5
4. Решение задачи. Результаты	6
5. Выводы	8

1 Введение

В данной работе в пакете прикладных программ ANSYS произведем численное моделирование процесса обтекания цилиндра пулевидного сечения. Рассмотрим различные режимы обтекания, в частности нестационарный режим обтекания с образованием дорожки вихрей Кармана.

Отметим, что логичнее рассматривать осесимметричную задачу обтекания пули, но в такой постановке достаточно сложно получить асимметричный след из вихрей Кармана, поэтому было принято решение рассматривать плоский случай обтекания цилиндра.

Стоит также уточнить, что режим обтекания цилиндра с образованием дорожки вихрей характеризуется малыми числами Рейнольдса, что в случае обтекания цилиндра газом обеспечивается малыми скоростями набегающего потока.

Режим течения с вихрями Кармана реализовать в численном виде сложнее чем кажется, необходимо осуществить крайне тонкую настройку восторенного решателя, а также корректно задать топологию сетки, в частности очень важно сгущать сетку вблизи обтекаемого тела, недостаточная плотность ячеек вблизи поверхности цилиндра приведет к некорректным результатам, а именно отсутствию дорожки вихрей Кармана.

По мере увеличения скорости набегающего потока дорожка Кармана будет сильнее турбулизироваться, что в итоге приведет к ее полному исчезновению для больших чисел Рейнольдса.

2 Параметры области моделирования

Пуля находится в центре прямоугольной области моделирования с небольшим смещением влево, поток газа движется слева направо. Диаметр носовой части цилиндра равен 4 см, его длина составляет 8 см. Размеры области моделирования составляют: высота - 70 см, ширина - 120 см.

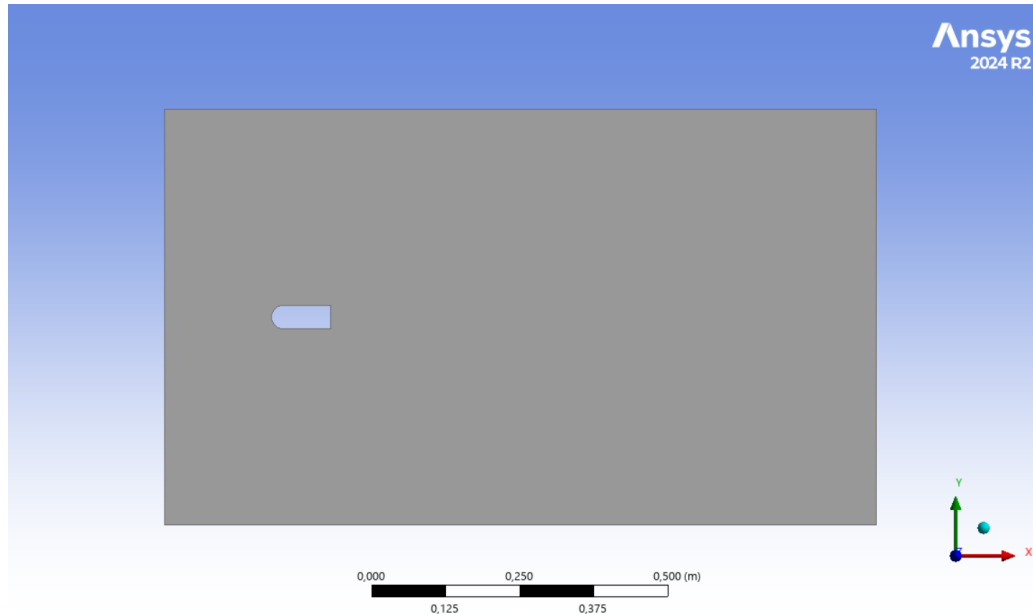


Рис. 1: Геометрия области моделирования.

Характерные числа Рейнольдса, для которых возможно обтекание с дорожкой вихрей Кармана, лежат в диапазоне $50 < Re_K < 1000$. Зная выражение для числа Рейнольдса и параметры воздуха, можем оценить характерные скорости потока, при которых формируются вихри Кармана:

$$R = \frac{\rho v L}{\mu} \implies v = \frac{\mu Re}{\rho L} \quad (2.1)$$

то есть скорости лежат в диапазоне $2 \text{ см/с} < v_K < 35 \text{ см/с}$, хотя в целом все зависит от случая, дорожка Кармана может наблюдаться и для больших чисел Рейнольдса.

Далее перейдем к рассмотрению двух вариантов численных сеток, которые разбивают область моделирования.

3 Вычислительные сетки

Рассмотрим два варианта сеток: со сгущением вблизи цилиндра и без. Также заметим, что на рисунках отмечены направления входа и выхода потока, верхняя и нижняя границы области моделирования соответствуют стенкам

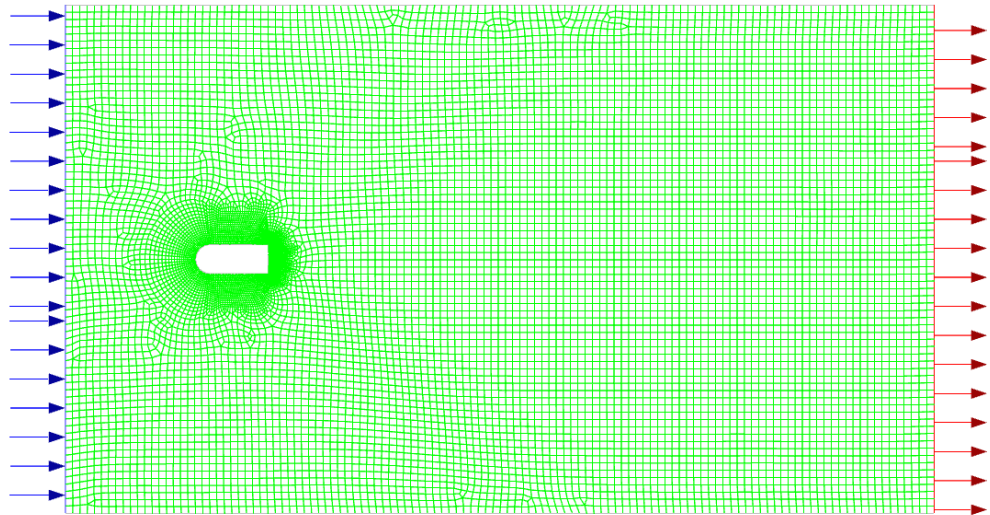


Рис. 2: Сетка со сгущением вблизи поверхности цилиндра.

с условием прилипания, на поверхности тела задано аналогичное краевое условие. На входе заданы параметры набегающего потока, в частности его скорость, на выходе выполнено условие нулевого градиента давления.

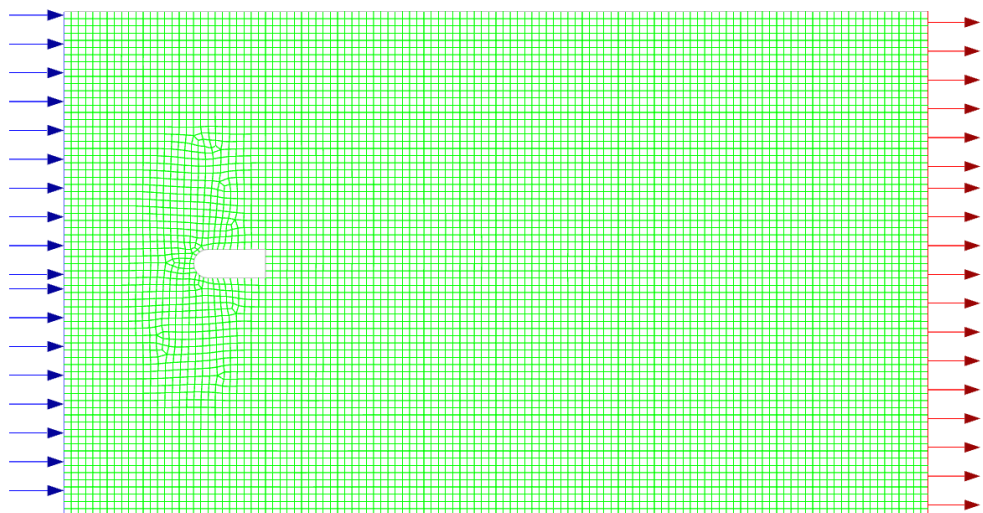


Рис. 3: Сетка без сгущения вблизи поверхности цилиндра.

Скорость потока в данной задаче мала, потому для решения был использован решатель *pressure-based*, также газ считался несжимаемым.

4 Решение задачи. Результаты

Для каждой сетки были рассмотрены три режима течения для трех скоростей набегающего потока: 0.3 м/с, 0.6 м/с, 3 м/с. Для первых двух скоростей на густой сетке наблюдается дорожка вихрей Кармана, однако на последней скорости она полностью турбулизируется. Далее сравним полученные распре-

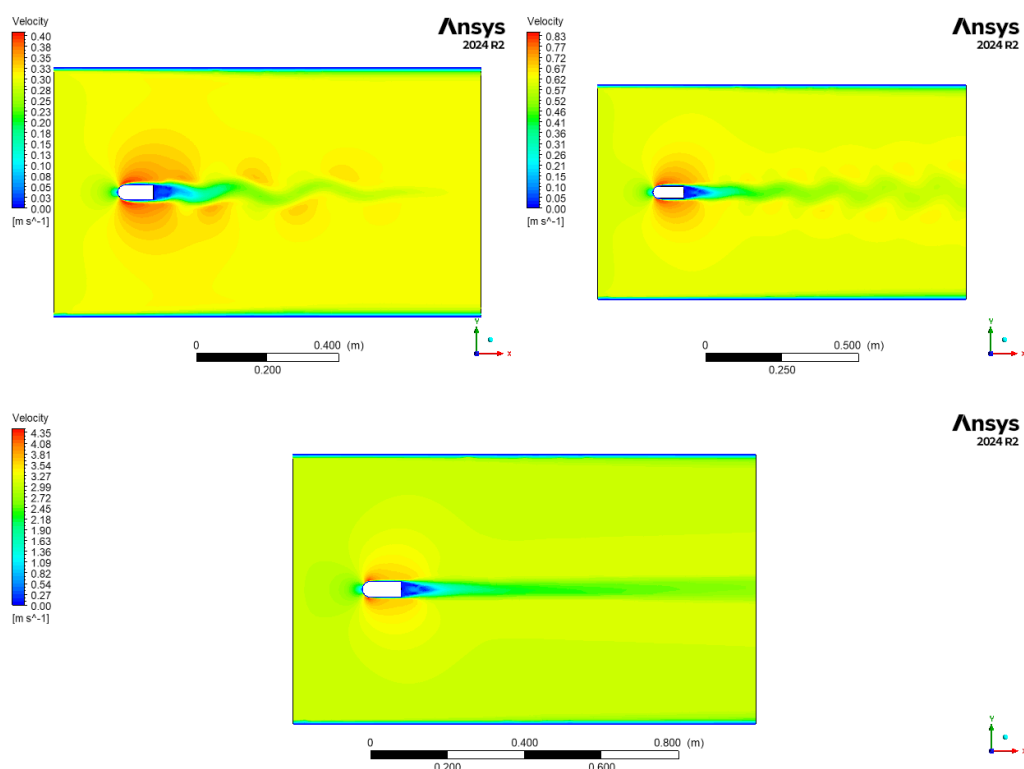


Рис. 4: Слева направо поле скоростей для трех режимов течения соответственно в случае густой сетки.

деления с сеткой без сгущения. На следующем рисунке в левом столбце густая сетка, в правом разреженная. Легко заметить, что в случае разреженной сетки дорожки вихрей Кармана нет, это позволяет сделать вывод о том, что большой вклад в образование вихрей Кармана вносит течение вблизи поверхности цилиндра, сгущение сетки в этой области повышает точность моделирования течения и соответственно процесса схода вихрей.

Однако стоит отметить, что процесс моделирования дорожки Кармана существенно зависит не только от точности сетки, но и от точности численных схем, которые используются для решения уравнений динамики газа, поэтому необходимо производить достаточно точную настройку решателя ANSYS Fluent.

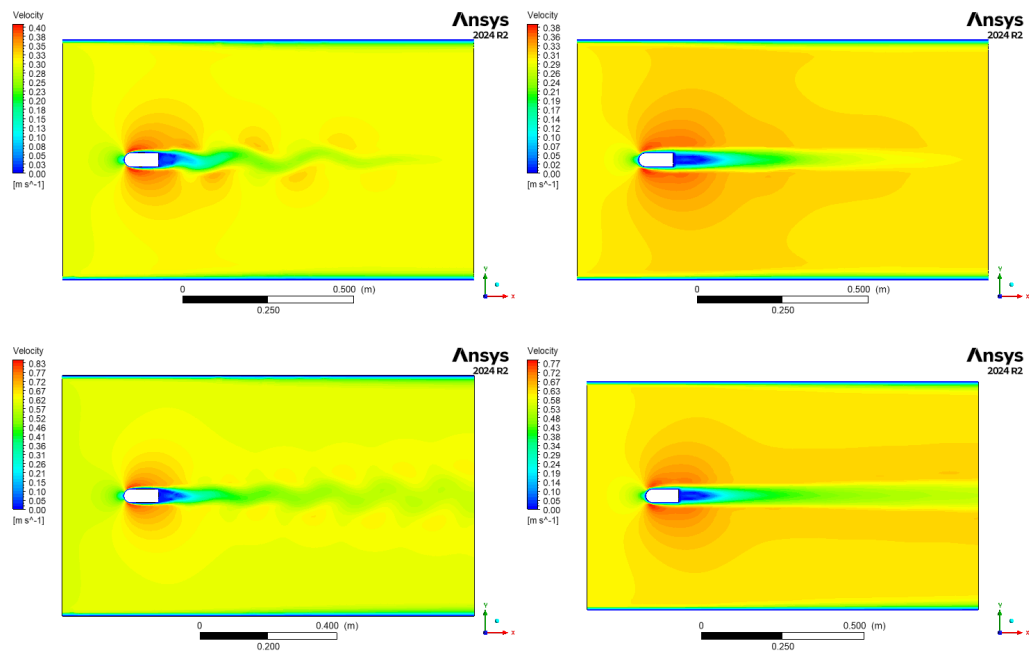


Рис. 5: Слева направо поле скоростей двух первых режимов течения для густой и разреженной сеток.

Отдельно необходимо отметить роль моделирования флуктуаций макро-параметров в набегающем потоке, при неправильном подборе соответствующих встроенных параметров моделирование вихрей также будет невозможно.

5 Выводы

В данной работе в пакете прикладных программ ANSYS Fluent было проведено численное моделирование процесса обтекания цилиндра пулевидного сечения атмосферным воздухом. Были исследованы различные режимы обтекания, в частности нестационарный режим обтекания с образованием дорожки вихрей Кармана.

В ходе экспериментов был наглядно показан процесс формирования и турбулизации вихревой дорожки Кармана за цилиндром пулевидного сечения. Также выяснилось, что процесс схода вихрей с цилиндра в численном эксперименте достаточно сложно получить, так как он требователен к точности расчетной сетки вблизи цилиндра и точности численной схемы интегрирования системы уравнений газовой динамики. Во многом процесс образования вихрей Кармана зависит и от начальной турбулентности потока, что также накладывает ограничения на реализацию численного эксперимента.

В процессе мною были приобретены крайне ценные навыки работы в ANSYS Fluent, в частности, навык построения расчетной области и сетки необходимой топологии, навык тонкой настройки встроенных решателей, навык продвинутой обработки результатов численного эксперимента в подпрограмме CFD-Post.