

УДК 533.6.011

Верхотурова Ирина Владимировна

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: rusia@mail.ru**Verkhoturova Irina Vladimirovna**

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: rusia@mail.ru**COMSOL MULTIPHYSICS В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО АЭРОДИНАМИКЕ****COMSOL MULTIPHYSICS IN AERODINAMICS LABORATORY WORKSHOP**

Аннотация. В работе представлены результаты моделирования в Comsol Multiphysics для демонстрации в лабораторном эксперименте по модулю «Аэродинамика» процесса обтекания ламинарными и турбулентными потоками аэродинамического профиля.

Annotation. This paper presents the results of modeling in Comsol Multiphysics to demonstrate the process of laminar and turbulent flows around an airfoil in a laboratory experiment using the Aerodynamics module.

Ключевые слова: поток, обтекание, аэродинамический профиль, пограничный слой, угол атаки.

Key words: flow, flow, airfoil, boundary layer, angle of attack.

DOI: 10.22250/20730268_2023_101_75

Применение модельного эксперимента с помощью компьютерных реализаций в лабораторном практикуме позволяет дополнить реальные эксперименты визуализацией изучаемого процесса или явления. Так, ранее в работах [1, 2] было продемонстрировано применение программного пакета Comsol Multiphysics для выполнения одной из лабораторных работ дисциплины «Гидрогазоаэродинамика». Обучающимся предлагалось в Comsol Multiphysics провести моделирование процесса обтекания ламинарным потоком неудобнообтекаемого тела (сферы) и удобнообтекаемого тела (аэродинамического профиля под нулевым углом атаки). Данное моделирование в рамках лабораторной работы прекрасно дополнило изучаемый материал о процессе обтекания тел ламинарными и турбулентными потоками и формировании аэродинамических сил, действующих на обтекаемое тело.

Для численного моделирования разнообразных физических процессов, описываемых частными дифференциальными уравнениями, Comsol Multiphysics обладает большим количеством решателей. Это также позволяет задействовать обучающимися знания и навыки, полученные на других дисциплинах – таких как дифференциальные уравнения математической физики, численные методы и методы оптимизации.

В данной работе показана реализация с помощью средств Comsol Multiphysics еще одной лабораторной работы по модулю «Аэродинамика». Обучающимся предлагается провести моделирование процесса обтекания ламинарным и турбулентным потоками аэродинамического профиля (симметричного и несимметричного) под разными не нулевыми углами атаки.

Моделирование процесса обтекания предлагается проводить в 2D-размерности пространства с использованием интерфейса *Fluid Flow* и *Single – Phase Flow*. Для решения задачи предлагается выбрать раздел *Laminar Flow* (ламинарный поток) или *Turbulent Flow* (турбулентный поток). Тип исследования – *Stationary*. После выбора разделов формируется дерево модели, в котором обучающийся должен выполнить построение обтекаемого тела и расчетного домена, задать начальные и граничные условия для дифференциальных уравнений, выбрать расчетную сетку и запустить решатель.

С помощью функции *Geometry* производится построение расчетного домена, задаются координаты положения профиля в домене, а также построение аэродинамического профиля. Последнее можно задать, используя самостоятельно заданный полином (модель *Polygon*) и все его параметры или воспользоваться возможностями бесплатного сайта <http://airfoiltools.com/plotter/index>. Здесь, задав необходимые геометрические размеры профиля и угол атаки, можно получить полиномиальную аппроксимацию контура профиля, которую потом следует импортировать в необходимый раздел функции *Geometry*.

Движение потока при наличии обтекаемого тела описывается двумя дифференциальными уравнениями – уравнением Навье-Стокса и уравнением неразрывности. Они дополняются граничными условиями. Для границы впуска потока – с помощью команды *Inlet* (начальное значение скорости потока), а для границы выпуска – с помощью команды *Outlet* (значения давления на выходе из домена) (рис. 1).

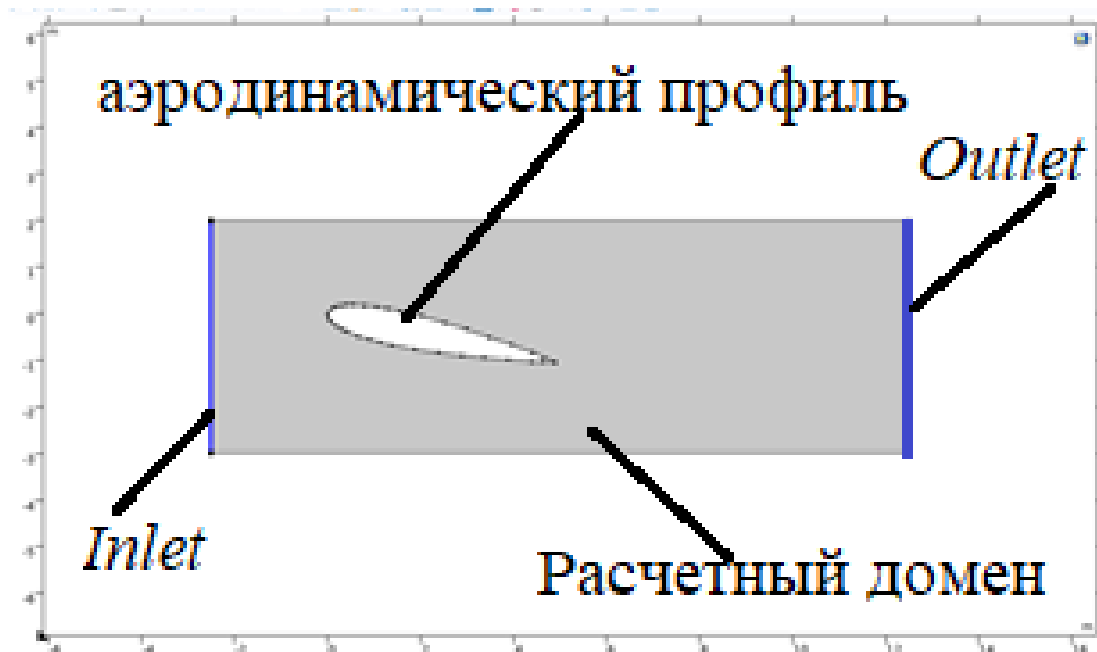


Рис. 1. Граничные области на расчетном домене.

Физические свойства потока, такие как вязкость и плотность, задаются в разделе *Materials*. С помощью узла *Mesh* проводится построение расчетной сетки и далее запускается решатель.

Результат моделирования – полные цветовые картины распределения поля скоростей (рис. 2) и давления по поверхности обтекаемого тела для разных режимов течения потоков.

Опираясь на теоретические знания, полученные при освоении модуля «Аэродинамика», обучающиеся по картинам распределения скорости и давления по поверхности обтекаемого тела должны уметь дать развернутое обоснование следующему:

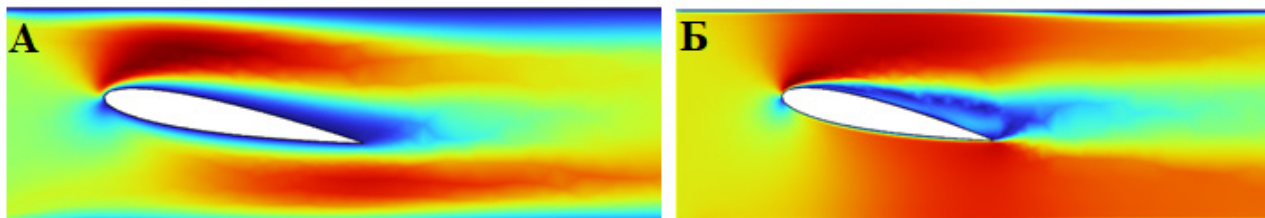


Рис. 2. Картина распределения скорости в окрестности при обтекании его ламинарным (А) и турбулентным (Б) потоками.

описать, как и почему происходит изменение изолиний вблизи носовой части профиля в зависимости от режима течения потока и угла атаки; описать, как и почему изменяется положение точки торможения потока при изменении угла атаки; описать все изменения, происходящие с пограничным слоем при изменении угла атаки (его формирование и условия его отрыва от поверхности обтекаемого тела).

Таким образом, реализация модельного эксперимента с помощью Comsol Multiphysics отлично дополняет изучаемый теоретический материал по модулю «Аэродинамика», облегчая обучающимся понимание процесса обтекания аэродинамического профиля, формирования подъемной силы и процессов, приводящих к изменению аэродинамических характеристик профиля при изменении угла атаки.

1. Верхотурова, И.В. Моделирование обтекания тел с отрывом потока жидкости в среде Comsol Multiphysics // Вестник АмГУ. Серия «Естественные и экономические науки». – 2021. – Вып. 93.– С. 34-37.

2. Верхотурова, И.В. Применение средств Comsol Multiphysics в лабораторном эксперименте / И.В. Верхотурова, К.С. Погребняк // Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование: Материалы XX региональной научной конференции (3-7 октября 2022 г., г. Хабаровск) / под ред. А. И. Мазура. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2022. – С. 172–176.