

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

М.В. Марашан

maximmarashan@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Разработана модель рабочей части аэродинамической трубы для численного моделирования аэродинамического эксперимента в трубе Т-500. Проведено численное моделирование эксперимента на примере обдувки профиля В симм.-12 %. Приведено сравнение результатов обдувок профиля В симм.-12 % в рабочей части аэродинамической трубы Т-500, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана, с результатами обдувок в трубе Т-102, разработанной в ЦАГИ. Получены близкие по значению результаты численного моделирования эксперимента и данных, приведенных в трудах ЦАГИ

Ключевые слова

Аэродинамический эксперимент, аэродинамическая труба, численное моделирование, Solid Works Flow Simulation

Поступила в редакцию 25.11.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Аэродинамические характеристики летательных аппаратов (ЛА) определяют экспериментальными и расчетными методами. Численные методы аэродинамики, используемые в специальных расчетных программах, не являются надежным средством определения аэродинамических характеристик моделей. Это связано, в первую очередь, с полуэмпирическим характером моделей турбулентности, используемых в расчетах [1]. Проведение натурального эксперимента сопряжено со значительными материальными и временными затратами. Испытание моделей в аэродинамических трубах в комбинации с поддержкой численных расчетов являются основным способом для определения аэродинамических характеристик ЛА [2].

Проведение экспериментов. В ходе проведения серии экспериментов на аэродинамической трубе Т-500 путем перемещения модели дозвукового профиля крыла В симм.-12 % ЦАГИ [3] в рабочей части было установлено, что модель, несмотря на допустимый процент загромождения ядра потока, существенно искажает поток в рабочей части. Это влияет на показатели получаемых аэродинамических характеристик. Поэтому актуальными являются вопросы верификации результатов обдувок различных моделей, степени искажения результатов в зависимости от размеров модели, характеристики которой нужно исследовать. Численное моделирование аэродинамического эксперимента в данной трубе и отдельное моделирование обтекания объекта в свободном пространстве позво-

лит сделать предварительные выводы о степени искажения результатов вследствие искажения ядра потока моделью и диффузором.

Для решения обозначенной задачи в МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана численная модель рабочей части аэродинамической трубы Т-500, состоящая из двух панелей с углублениями, которые имитируют сопло и диффузор (рис. 1). В качестве инструмента численного расчета был выбран пакет дополнительных модулей по газо-, гидродинамическим расчетам Flow Simulation из САПР Solid Works [4], в качестве граничных условий — скорость истечения потока из входного сопла $V = 23$ м/с и входящий в диффузор массовый расход \dot{m} . Регулируя последний параметр, можно добиться максимально близкого к эксперименту результата.

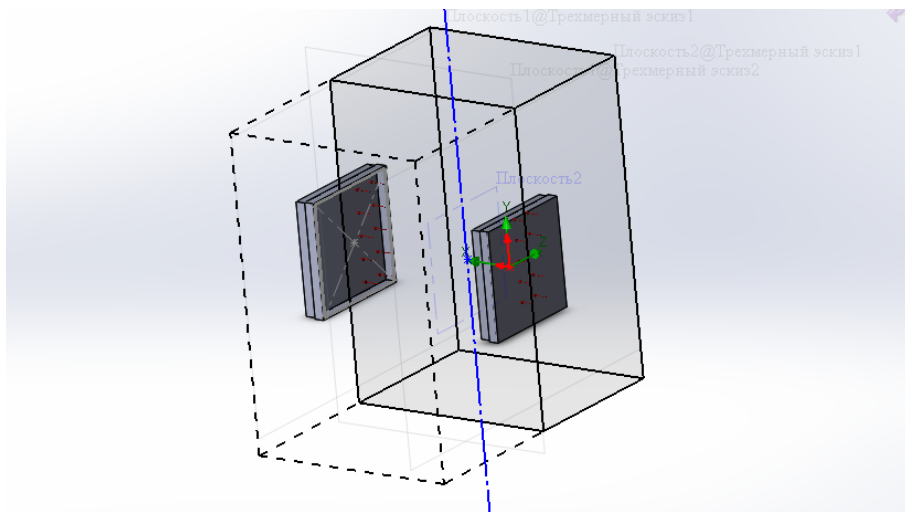


Рис. 1. Численная модель рабочей части аэродинамической трубы Т-500. МГТУ им. Н.Э. Баумана

Критерием выбора оптимального массового расхода считали соответствие ядра потока в численной задаче и экспериментальных данных, полученных с использованием трубки Пито. Для этого, как и в лабораторном эксперименте, в трех разных сечениях, удаленных от сопла, строились эпюры изменения скорости в зависимости от удаления от центра ядра.

В первом приближении массовый расход через диффузор выбрали равным массовому расходу на выходе из сопла. Задача свелась к нахождению повышающего или понижающего множителя k . Вычислив его, можно получить массовый расход в диффузоре.

Методом последовательных итераций был выбран коэффициент $k = 1,124$, при котором отклонения скорости в соответствующих точках не превышает 5 % (рис. 2). Затем проведена обдувка модели крыла В симм.–12 % в разработанной численной модели и сравнение с результатом, полученным на аэродинамической трубе Т-500, где модель крыла имитирует крыло бесконечного размаха,

с результатами численной обдувки данной модели в свободном пространстве. Была построена модель крыла В-12 % симм., разработанная в ЦАГИ (рис. 3). Для получения аэродинамических коэффициентов профиля (или бесконечного размаха), крыло разбито на три равных сегмента. Центральный сегмент полностью входит в ядро потока, поэтому картину распределения давления по размаху сегмента можно считать постоянной.

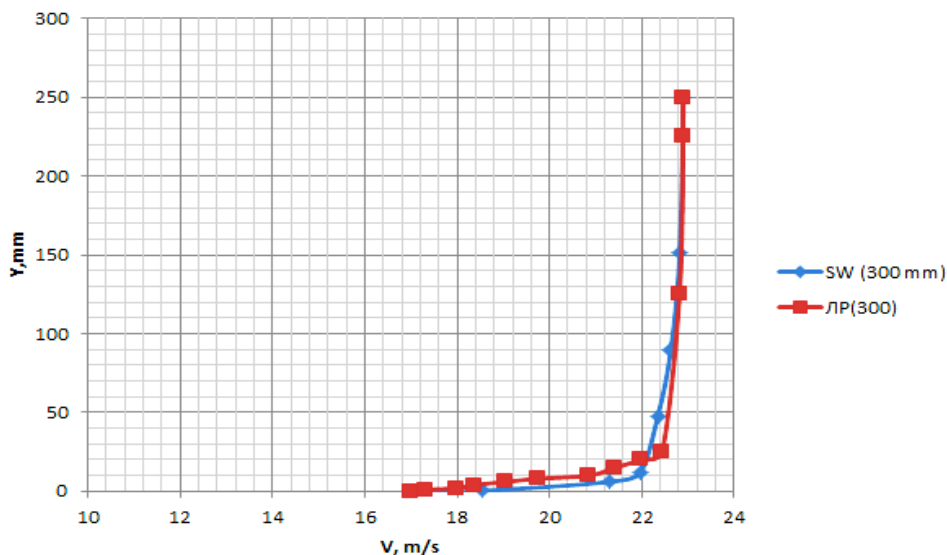


Рис. 2. Размеры ядра потока в численной задаче (SW) и лабораторные результаты (ЛР) на расстоянии 300 мм от среза сопла

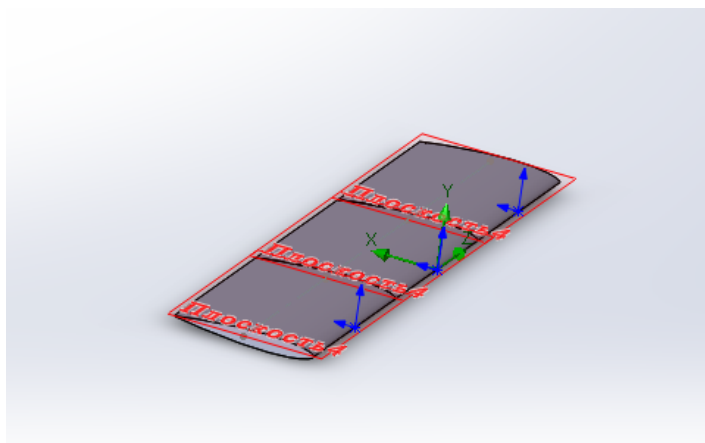


Рис. 3. Разработанная в ЦАГИ модель крыла с профилем В-12 % симм.

Результаты расчета подтвердили, что модель крыла существенно искажает ядро потока, скашивая его вниз (рис. 4). Картина обтекания модели крыла в аэродинамической трубе отличается от обтекания «на бесконечности», что сказывается на получаемых аэродинамических коэффициентах (рис. 5).

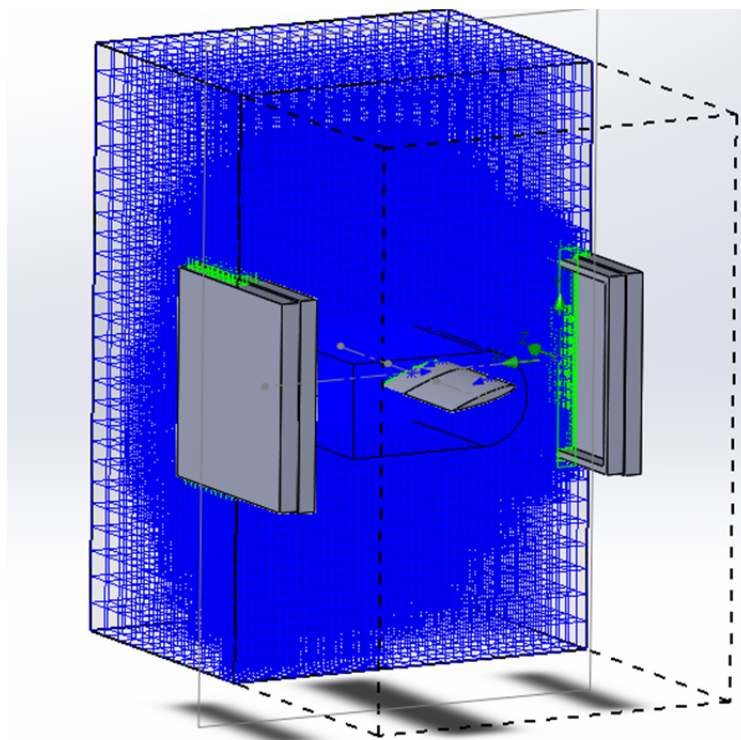


Рис. 4. Модель численного эксперимента с моделью крыла В–12 % симм.
МГТУ им. Н.Э. Баумана

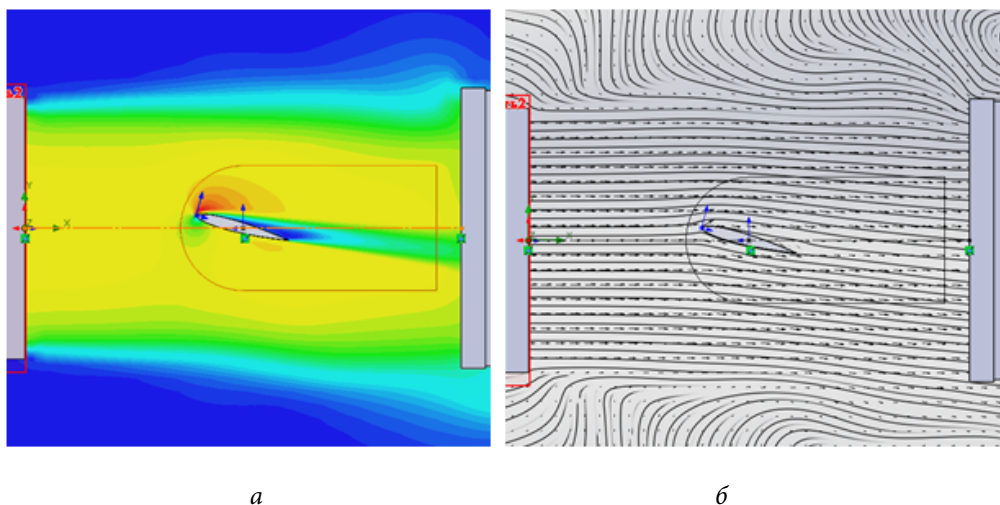


Рис. 5. Распределение скорости (а) и линии тока (б) в центральном сечении

Результаты, полученные в ЦАГИ и результаты, полученные в МГТУ им. Н.Э. Баумана в ходе эксперимента (лабораторных условиях) и при численном моделировании, представлены в таблице. Во всех случаях угол атаки $\alpha = 15$ град.

Данные результатов исследования

| Оцениваемый параметр | ЦАГИ (Т-102) | Эксперимент на Т-500 (дренажный) | Численное моделирование эксперимента на Т-500 |
|---|--------------|----------------------------------|---|
| Коэффициент подъемной силы C_{ya} | 0,75 | 0,635 | 0,631 |
| Коэффициент лобового сопротивления C_{xa} | 0,12 | 0,112 | 0,144 ($C_{xa_p}=0,135$) |

Выводы. С помощью моделирования эксперимента получено визуальное подтверждение причины снижения коэффициента подъемной силы профиля В симм.-12 % при обдувах в лаборатории. Существенное отличие обтекания крыла в аэродинамической трубе, по сравнению с обтеканием в «бесконечном» потоке, обусловлено неприемлемым загромождением ядра потока. Разработана модель рабочей части аэродинамической трубы для вычисления результатов эксперимента и выбора параметров моделей.

Литература

1. *Аэродинамика* / А.Г. Голубев, В.Т. Калугин, А.Ю. Луценко, В.О. Москаленко, Е.Г. Столярова, А.И. Хлупнов, П.А. Чернуха. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 687 с.
2. *Марашан М.В.* Экранный эффект: разработка экспериментальной методики определения аэродинамических характеристик моделей с учетом влияния экрана // Молодой ученый. 2015. № 24 (104). С. 157–160.
3. *Ушаков Б.А., Красильщиков П.П., Волков А.К., Гржегоржевский А.Н.* Атлас аэродинамических характеристик профилей крыльев. М.: БНТ НКЕАП при ЦАГИ, 1940. 340 с.
4. *SolidWorks flow simulation 2012 tutorial.* SolidWorks, 2012. 266 p.

Марашан Максим Владимирович — студент, кафедры «Динамика полета и управление движением ракет и космических аппаратов», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.Г. Голубев, старший преподаватель кафедры «Динамика полета и управление движением ракет и космических аппаратов», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**NUMERICAL MODELING OF AERODYNAMIC WIND TUNNEL
EXPERIMENT****M.V. Marashan**

maximmarashan@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

We developed a model of the wind tunnel test section for aerodynamic numerical simulation experiment in the tunnel T-500, developed in Bauman Moscow State Technical University. We carried out numerical modeling of the experiment according to the example of the profile blasting V simm. — 12 %. We drew the comparison between the results of profile blasting V simm. — 12 % in the wind tunnel T-500 test section and the results of blasting in the tunnel T-102, developed in Central Aerohydrodynamic Institute as a result of numerical simulation. We obtained close agreement of results of numerical modeling and experimental data presented in the works of Central Aerohydrodynamic Institute

Keywords

Aerodynamic experiment, wind tunnel, numerical simulation, Solid Works Flow Simulation

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

References

- [1] Golubev A.G., Kalugin V.T., Lutsenko A.Yu., Moskalenko V.O., Stolyarova E.G., Khlupnov A.I., Chernukha P.A. Aerodinamika [Aerodynamics]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 687 p. (in Russ.).
- [2] Marashan M.V. Screen effect: experimental technique developing for aerodynamic characteristics measurement taking into account screen impact. *Molodoy uchenyy*, 2015, no. 24 (104), pp. 157–160 (in Russ.).
- [3] Ushakov B.A., Krasil'shchikov P.P., Volkov A.K., Grzhegorzhevskiy A.N. Atlas aerodinamicheskikh kharakteristik profiley kryl'yev [Atlas of aerofoil aerodynamic characteristics]. Moscow, "BNT NKEAP pri TsAGI" Publ., 1944. 340 p. (in Russ.).
- [4] SolidWorks flow simulation 2012 tutorial. SolidWorks, 2012. 266 p.

Marashan M.V. — student of Department of Flight Dynamics and Rocket and Spacecraft Movement Control, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.G. Golubev, Assist. Professor of Department of Flight Dynamics and Rocket and Spacecraft Movement Control, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.