

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан ММФ

Л. В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

**Аэродинамика**

по направлению подготовки

**01.03.03 Механика и математическое моделирование**

Направленность (профиль) подготовки :

**Основы научно-исследовательской деятельности в области механики и  
математического моделирования**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
Л. В. Гензе

Председатель УМК  
Е.А.Тарасов

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-4 Способен проводить под научным руководством исследование на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности.

ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские разработки по отдельным разделам выбранной темы.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 4.1 Проводит поиск и обработку научной и научно-технической информации, необходимой для решения исследовательских задач

ИОПК 4.2 Оценивает полученные результаты и формулирует выводы по итогам проведенных исследований

ИПК 1.1 Проводит работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

ИПК 1.2 Подготавливает планы и программы проведения отдельных этапов научно-исследовательской работы

ИПК 1.3 Проводит отдельные этапы научно-исследовательской работы

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Познакомить студентов с основными концепциями и понятиями спецкурса «Аэродинамика»,

– Обучить студентов методам исследований взаимодействия сверхзвуковых потоков газа с головными частями моделей летательных аппаратов.

– Научить применять понятийный аппарат спецкурса «Аэродинамики» для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Седьмой семестр, зачет с оценкой

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Механика сплошной среды, Дифференциальная геометрия, Дифференциальные уравнения, Численные методы.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часа, из которых:

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 64 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## 8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Основные уравнения и соотношения аэродинамики для определения параметров течения.

Краткое содержание темы:

1.1. Физические свойства и модели воздушной среды. Классификация принципов полета. Строение атмосферы. Стандартная атмосфера. Основные физико-механические характеристики воздуха. Формула Сатерленда. Траектория полета.

1.2. Классификация потоков по числам Маха. Особенности движения сжимаемого газа. Сопло Лавала. Конус Маха. Методы и средства исследования. Основные законы движения газов. Понятие воздушного потока.

1.3. Изоэнтропические течения и скачки уплотнения. Ударная волна. Прямой и косой скачок уплотнения. Соотношения Рэнкина-Гюгонио. Формула Рэля. Коэффициент восстановления полного давления. Критическая и максимальная скорость.

1.4. Уравнения сохранения. Критерии подобия в аэродинамике. Модели описания течения газов. Основные законы аэродинамики. Уравнение неразрывности. Закон Бернулли. Числа Кнудсена, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

1.5. Математические модели осесимметричного обтекания. Методы определения распределения давления на поверхности летательного аппарата. Метод Ньютона. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса.

1.6. Математическое моделирование вязких течений. Пограничный слой. Ламинарный, турбулентный и смешанный характер течения. Отрыв пограничного слоя. Параметры потока на внешней границе пограничного слоя. Звуковая линия.

Тема 2. Методы экспериментального исследования аэродинамических явлений.

2.1. Экспериментальные установки для исследования взаимодействия моделей летательных аппаратов со сверхзвуковыми потоками. Принцип работы аэродинамической трубы.

2.2. Методы аэродинамического эксперимента. Измерение параметров потока в аэродинамических трубах. Тарировка датчиков давления. Измерение давления и температуры потока. Определение числа Маха, скорости звука в сверхзвуковой струе пневмометрическим способом. Определение коэффициента сопротивления модели в сверхзвуковом потоке.

Тема 3. Аэродинамические силы, моменты и нагрев.

Краткое содержание темы:

3.1. Системы координат, применяемые в аэродинамике. Связанная, скоростная, нормальная системы координат. Понятия углов атаки, скольжения, рыскания, тангажа и крена. Криволинейная естественная система координат.

3.2. Пространственное сверхзвуковое обтекание затупленного тела. Система уравнений пространственного вязкого и невязкого течений. Влияние угла атаки на характеристики течения.

3.3. Аэродинамический нагрев при сверхзвуковом обтекании. Аэродинамические формы сверх- и гиперзвуковых летательных аппаратов. Распределение теплового потока. Приближенные формулы. Формула Фэй-Риддела.

3.4. Аэродинамические силы и моменты, действующие на тело в сверхзвуковом потоке. Аэродинамические коэффициенты. Составляющие силы лобового сопротивления. Сопротивление давления и трения. Аэродинамическое сопротивление летательных аппаратов с различной геометрией. Применение метода Ньютона для расчета аэродинамических коэффициентов.

3.5. Особенности гиперзвукового обтекания. Модель химически равновесного воздуха. Высокотемпературные потоки. Экспериментальные методы исследования. Сопротивление и нагрев летательного аппарата при гиперзвуковом обтекании.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. В дисциплине используется балльно-рейтинговая система. Текущий контроль дает 60% рейтинга. Для перевода в пятибалльную систему используется процент полученных баллов от максимально возможного количества баллов в соответствии со следующей таблицей:

Баллы в системе Moodle	5-балльная система
90% и выше	отлично (5)
70–89%	хорошо (4)
60–70%	удовлетворительно (3)
59% и ниже	неудовлетворительно (2)

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в седьмом семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит теоретический вопрос и две задачи. Продолжительность зачета 1,5 часа. Промежуточная аттестация дает 40% рейтинга. Итоговая оценка по дифференцированному зачету определяется как средневзвешенная величина оценок по текущему контролю и промежуточной аттестации с весами 60% и 40% соответственно.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Основные понятия аэродинамики. Классификация принципов полета. Строение атмосферы. Стандартная атмосфера
2. Основные физико-механические характеристики воздуха. Классификация по числам Маха
3. Модели описания течения газов. Основные законы движения газов. Понятие воздушного потока. Закон Бернулли
4. Критерии подобия в аэродинамике. Траектория полета.
5. Пограничный слой. Число Рейнольдса.
6. Особенности движения сжимаемого газа. Конус Маха.
7. Изоэнтропические течения и скачки уплотнения. Ударная волна. Прямой скачок уплотнения. Соотношения Рэнкина-Гюгонио.
8. Невязкое осесимметричное течение около затупленного тела. Уравнения Эйлера. Адиабата Пуассона.
9. Критическая и максимальная скорость. Сопло Лаваля. Коэффициент восстановления полного давления. Формула Рэлея.
10. Методы определения распределения давления на поверхности летательного аппарата. Формула Ньютона.
11. Математическое моделирование вязких течений. Пограничный слой. Уравнения Навье-Стокса.
12. Ламинарный, турбулентный и смешанный характер течения в пограничном слое. Отрыв пограничного слоя. Звуковая линия.

13. Аэродинамические формы сверх- и гиперзвуковых летательных аппаратов. Системы координат, применяемые в аэродинамике.

14. Пространственное сверхзвуковое обтекание летательного аппарата. Система уравнений пространственного вязкого и невязкого течения.

15. Параметры течения при пространственном обтекании ЛА. Влияние угла атаки на характеристики течения.

16. Аэродинамические силы и моменты, действующие на тело в сверхзвуковом потоке. Компоненты силы лобового сопротивления. Сопротивление давления и трения.

17. Аэродинамическое сопротивление летательных аппаратов с различной геометрией. Применение метода Ньютона для расчета аэродинамических коэффициентов.

18. Аэродинамический нагрев. Аэродинамические формы сверх- и гиперзвуковых летательных аппаратов. Распределение теплового потока.

19. Дифференциальные уравнения движения вязкого газа в криволинейной системе координат

20. Особенности гиперзвукового обтекания. Модель химически равновесного воздуха. Аэродинамическое сопротивление и нагрев летательного аппарата при гиперзвуковом обтекании.

Примеры задач:

1. Аэродинамические силы

Дано: Параметры набегающего потока и форма обтекаемого тела

Требуется: Определить силу и коэффициент сопротивления тела.

2. Аэродинамический нагрев летательного аппарата.

Дано: Параметры набегающего потока и точка на поверхности тела

Требуется: Определить тепловой поток или коэффициент теплообмена или коэффициент теплоотдачи.

3. Критерии подобия в аэродинамике.

Дано: Высота и скорость полета, характерные размеры летательного аппарата.

Требуется: Определить параметры течения, чтобы обеспечить подобие по числу Маха (числу Рейнольдса, числу Кнудсена) для лабораторных условий (на уровне моря).

4. Закон Бернулли.

Дано: Параметры набегающего потока.

Определить: Параметры в точке торможения (температуру, энтальпию, максимальную скорость, скорость звука, ...).

5. Сверхзвуковое обтекание. Прямой скачок уплотнения.

Дано: Параметры набегающего потока.

Определить: Параметры в точке торможения (температуру, энтальпию, максимальную скорость, скорость звука, ...) за скачком уплотнения.

6. Соотношения Рэнкина-Гюгонио.

Дано: Параметры набегающего потока.

Определить: Параметры за прямым скачком уплотнения (температуру, энтальпию, максимальную скорость, скорость звука, ...).

7. Влияние угла атаки.

Дано: Параметры набегающего потока. Координаты точек на подветренной и наветренной сторонах в плоскости симметрии летательного аппарата.

Определить: Разницу давлений (температуры, скорости, плотности, энтальпии) на внешней границе пограничного слоя.

8. Гиперзвуковое обтекание. Модель химически равновесного воздуха.

Дано: Параметры набегающего потока.

Определить: Параметры в точке торможения (плотность, температуру, максимальную скорость, скорость звука, ...).

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2137>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Краснов Н.Ф. Аэродинамика. – М.: Высш. школа, 1980. – 496 с.

– Голубев А. Г., Епихин А. С., Калугин В. Т. Аэродинамика: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 607 с.

– Любимов А.Н., Русанов В.В. Течения газа около тупых тел. – М.: Наука, 1970. – 668 с.

– Лунев В. В. Течение реальных газов с большими скоростями. – М.: Физматлит, 2007. – 760 с.

– ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 180 с.

б) дополнительная литература:

– Гиперзвуковая аэродинамика и тепломассообмен спускаемых космических аппаратов и планетных зондов. – М.: Физматлит, 2011. – 548 с.

– Антонов В.А., Гольдин В.Д., Пахомов Ф.М. Аэродинамика тел со вдувом. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1990. – 193 с.

## 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

## 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа с доской, проектором и компьютером с предустановленным офисным пакетом Microsoft Office 2013.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

## 15. Информация о разработчиках

Овчинников Вячеслав Александрович, к.ф.-м.н., кафедра физической и вычислительной механики, доцент