Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Артеменков Михаил Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 16.11.2026 11:57:59
Уникальный программный ключ:
a63b74166e8f4fc17bd1e0462725f79e393bfdf9

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра физики и технических дисциплин

«Утверждаю»
Проректор по учебно-
методической деятельности
_____Ю.А. Устименко
«10» сентября 2026 г.

Рабочая программа дисциплины
Б1.О.11.07 Аэродинамика

Направление подготовки: 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей
Направленность (профиль): Конструкция, технология эксплуатации и ремонта авиационной техники

Форма обучения: очная
Курс – 3
Семестр – 5
Всего зачетных единиц – 3; часов – 108
Форма аттестации – экзамен

Смоленск
2026

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина Б1.О.11.07 Аэродинамика относится к обязательной части учебного плана образовательной программы по направлению подготовки: 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей

Данная дисциплина посвящена изучению законов движения воздуха и их воздействия на летательные аппараты. В ходе изучения дисциплины студенты приобретают знания о физических основах аэродинамики, методах расчета аэродинамических характеристик, а также об особенностях обтекания различных элементов конструкции летательного аппарата. Рассматриваются вопросы устойчивости и управляемости летательных аппаратов, а также методы улучшения их аэродинамических характеристик.

Дисциплина «Аэродинамика» изучается в 5 семестре, и базируется на результатах обучения, полученных при изучении дисциплин: «Введение в авиационную и ракетно-космическую технику», «Инженерная графика», «Сопротивление материалов». Дисциплина «Аэродинамика» является обеспечивающей для дисциплин: «Аэродинамика самолета», «Динамика полета самолета», а также при прохождении практик: «Летно-эксплуатационная практика», «Производственно-конструкторская практика (в том числе НИР)» и для написания выпускной квалификационной работы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенции	**Индикаторы достижения**
ОПК –1 Способен использовать основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики, гидравлики, имеющие отношение к техническому обслуживанию воздушных судов	Знать: физические свойства воздуха, геометрические и аэродинамические характеристики крыла, профиля и летательного аппарата в целом, физику образования лобового сопротивления, особенности аэродинамики на различных режимах, принципы устойчивости и управляемости ВС, опасные аэродинамические явления Уметь: анализировать аэродинамические характеристики самолета по его полярам и графикам потребных и располагаемых тяг/мощностей, рассчитывать основные параметры летных режимов, оценивать влияние эксплуатационных факторов на безопасность полета Владеть: представлением об обслуживании и эксплуатации самолетов и их систем в аэродромных условиях; методиками анализа причин авиационных инцидентов, связанных с выходом ВС за пределы эксплуатационных ограничений по аэродинамике (например, превышение угла атаки или перегрузки)
ПК – 3 Способен применять методы технической диагностики, неразрушающего контроля и теории надежности для локализации отказов и неисправностей авиационной техники, проведения процедур поиска неисправностей	Знать: теоретические основы надежности авиационной техники, классификацию отказов, закономерности износа, а также физические принципы и методы технической диагностики Уметь: оценивать летно-технические характеристики, аэродинамическое качество, устойчивость и управляемость воздушных судов в процессе эксплуатации, а также анализировать влияние технического состояния планера на безопасность полетов Владеть: практическими навыками работы с дефектоскопами, эндоскопами, тепловизорами и другими техническими

(Troubleshooting) и анализа причин инцидентов	средствами контроля состояния авиационной техники

3. Содержание дисциплины

Введение в аэродинамику. Предмет и задачи аэродинамики.Краткая история развития аэродинамики.Основные понятия и определения: поток, скорость, давление, плотность, вязкость.Классификация потоков: ламинарный, турбулентный, сжимаемый, несжимаемый, дозвуковой, сверхзвуковой.Основные системы координат, силы и моменты, действующие на ЛА.

Основы газовой динамики. Уравнение состояния газа.Уравнение неразрывности.Уравнение импульсов.Уравнение энергии.Идеальная и реальная жидкости.Потенциальное течение.Теорема Жуковского.

Аэродинамика крыла. Геометрия крыла: профиль, хорда, размах, площадь, удлинение. Аэродинамические характеристики профиля: подъемная сила, сила лобового сопротивления, момент.Влияние угла атаки и скорости потока на аэродинамические характеристики крыла. Поляра крыла. Конечное крыло: вихревая теория. Влияние законцовок крыла на аэродинамические характеристики. Методы улучшения аэродинамических характеристик крыла (механизация, управление пограничным слоем).

Аэродинамика фюзеляжа и оперения. Аэродинамические характеристики фюзеляжа: сила лобового сопротивления, боковая сила, момент.Влияние формы фюзеляжа на его аэродинамические характеристики.Аэродинамика оперения: горизонтальное и вертикальное оперение.Роль оперения в обеспечении устойчивости и управляемости ЛА.Компоновка оперения и ее влияние на аэродинамические характеристики.

Аэродинамика винта и несущего винта вертолета. Теория идеального винта.Элементная теория винта.Аэродинамические характеристики винта: тяга, крутящий момент, мощность.Влияние скорости вращения и шага винта на аэродинамические характеристики.Аэродинамика несущего винта вертолета.Режимы работы несущего винта.

Аэродинамические характеристики летательных аппаратов. Определение аэродинамических характеристик ЛА: подъемная сила, сила лобового сопротивления, боковая сила, моменты.Влияние формы и размеров ЛА на его аэродинамические характеристики. Аэродинамические нагрузки. Методы экспериментального определения аэродинамических характеристик (аэродинамические трубы). Методы теоретического расчета аэродинамических характеристик.

Устойчивость и управляемость летательных аппаратов. Статическая и динамическая устойчивость. Продольная и поперечная устойчивость.Управляемость ЛА: органы управления, их эффективность.Влияние аэродинамических характеристик на устойчивость и управляемость. Законы динамики полета.

4. Тематический план и виды образовательной деятельности

№ п/п	Темы лекционных занятий / практических занятий / лабораторных работ/ самостоятельной работы студента	Формы занятий				
		Всего часов	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
1.	Введение в аэродинамику	10	4	2	2	2
2.	Основы газовой динамики	10	4	2	2	2
3.	Аэродинамика крыла	16	6	4	4	2
4.	Аэродинамика фюзеляжа и оперения	12	6	2	2	2
5.	Аэродинамика винта и несущего винта вертолета	12	6	2	2	2
6.	Аэродинамические характеристики летательных аппаратов	10	4	2	2	2

7.	Устойчивость и управляемость летательных аппаратов	11	4	2	2	3
	Подготовка к экзамену	27	-	-	-	27
Итого по дисциплине		**108**	**34**	**16**	**16**	**42**

5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации (перечень)

Уровень и качество знаний обучающихся по дисциплине «Аэродинамика» оцениваются по результатам текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации, проводимой в форме экзамена в 5 семестре. Текущий контроль включает устные опросы, тесты, подготовку докладов, защиту лабораторных работ.

1. Устный опрос проводится на занятиях с целью проверки усвоения теоретического материала, изложенного на лекциях.

Вопросы для устного опроса (примеры)

1. Каковы физические причины возникновения подъемной силы крыла и как закон Бернулли объясняет разность давлений на нижней и верхней поверхностях профиля?
2. Что такое пограничный слой, какова разница между ламинарным и турбулентным течением и как состояние поверхности крыла влияет на точку перехода?
3. Как появление микродефектов, сколов и заклепочных швов на обшивке планера сказывается на лобовом сопротивлении самолета в процессе эксплуатации?
4. Что характеризует понятие «срыв потока» (критический угол атаки) и к каким аэродинамическим последствиям приводит деформация носка крыла?
5. В чем заключается физическая сущность индуктивного сопротивления и с помощью каких конструктивных элементов (например, винглетов/шарклетов) его снижают?
6. Как тепловизионный контроль помогает в аэродинамических исследованиях и при диагностике систем обогрева кромок крыла в эксплуатации?
7. Какое влияние оказывает обледенение элементов планера на форму профиля, подъемную силу и критический угол атаки самолета?
8. Каким образом дефекты механизации крыла (предкрылков, закрылков), выявленные при эндоскопическом осмотре, могут нарушить балансировку и управление воздушным судном?

2. Лабораторные работы (пример структуры лабораторной работы)

СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Теоретическое введение (краткие теоретические сведения)

Физические основы формирования подъемной силы и лобового сопротивления.
Уравнение Бернулли для сжимаемого и несжимаемого воздушного потока.
Понятие пограничного слоя, ламинарного и турбулентного режимов течения.
Влияние шероховатости, волнистости и дефектов обшивки на срыв потока.

2. Описание лабораторной установки и контрольно-измерительных приборов

- Схема и характеристики аэродинамической трубы (тип, размеры рабочей части, диапазон скоростей).
- Объект исследования: дренированная модель крыла самолета (со встроенными датчиками давления).
- Измерительная аппаратура: многоканальный жидкостный или электронный манометр, трубка Пито-Прандтля, координатник углов атаки.
- *Опционально (при интеграции с неразрушающим контролем):* Описание тепловизора или эндоскопа для фиксации состояния поверхности модели.

3. Техника безопасности при выполнении работы

- Правила безопасной работы вблизи вращающихся элементов вентилятора аэродинамической трубы.
- Порядок экстренной остановки лабораторного комплекса.

- Правила обращения с измерительными приборами и электрическими компонентами стенда.

4. Порядок выполнения работы (Пошаговый алгоритм)
   1. **Подготовка.** Провести визуальный (эндоскопический) осмотр модели крыла, убедиться в отсутствии недопустимых загрязнений и дефектов.
   2. **Включение.** Запустить аэродинамическую трубу и установить заданную скорость воздушного потока (число Рейнольдса Re).
   3. **Снятие показаний (базовый режим).** Выставить модель на начальный угол атаки α=0∘. Зафиксировать показания датчиков давления по верхней и нижней поверхностям крыла.
   4. **Варьирование параметров.** Повторить измерения для углов атаки в диапазоне от −4∘до +20∘с шагом 2∘ (зафиксировать момент начала срыва потока).
   5. **Моделирование эксплуатационного дефекта (при наличии).** Нанести на носок крыла искусственную шероховатость (имитация обледенения или повреждения обшивки) и повторить замеры для критических углов атаки.

5. Обработка результатов измерений и расчеты
   - Перевод показаний манометров в значения статического давления Pi.
   - Расчет безразмерных коэффициентов давления Cpдля каждой точки профиля.
   - Построение графиков распределения давления по верхней и нижней дужкам профиля.
   - Численное интегрирование эпюры давления для нахождения коэффициента подъемной силы Cy.

6. Содержание отчета по лабораторной работе
   - Титульный лист установленного образца.
   - Цель работы, эскиз рабочей части аэродинамической трубы и схемы профиля.
   - Таблицы с исходными экспериментальными данными и результатами расчетов.
   - Графики: $Cp=f\ (\bar{x})$ (распределение давления) и $Cy=f\ (\alpha)$ (зависимость подъемной силы от угла атаки).
   - Выводы по работе (анализ смещения точки срыва потока и потери несущих свойств при дефектах обшивки).

7. Контрольные вопросы для защиты работы
   - 3–4 точечных вопроса из общего фонда оценочных средств (например: *«Как по эпюре распределения давления определить начало срыва потока?»* или *«Каким образом искусственная шероховатость на носке крыла повлияла на величину критического угла атаки?»*).

Защита лабораторных работ осуществляется в форме устного опроса и направлена на оценку уровня освоения студентом практических навыков и применения теоретических знаний.

3. Тестирование проводится по завершении изучения разделов, включающих несколько тем, и предназначено для проверки усвоения как теоретического, так и практического материала.

Пример тестовых заданий

Задание 1. К какому аэродинамическому последствию приводит появление вмятин, сколов обшивки или очагов обледенения на носке (передней кромке) крыла самолета в процессе эксплуатации?

А) К смещению точки перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный ближе к задней кромке.

Б) К преждевременному отрыву пограничного слоя, уменьшению критического угла атаки и падению максимальной подъемной силы.

В) К росту подъемной силы за счет увеличения локальной шероховатости поверхности.

Г) К снижению индуктивного сопротивления крыла на малых углах атаки.

Задание 2. Установите соответствие между типом эксплуатационного изменения геометрии/состояния планера и его прямым влиянием на аэродинамические характеристики самолета.

Дефект / Состояние поверхности	Аэродинамическое последствие
1. Разрушение уплотнений и появление щелей в узлах навески закрылков	**А.** Резкое падение подъемной силы, смещение фокуса крыла и искажение проектной эпюры распределения давления
2. Срез или неплотная посадка потайных заклепок на верхней обшивке	**Б.** Перетекание воздуха с нижней поверхности на верхнюю, вызывающее местный срыв потока и рост профильного сопротивления
3. Нарушение теплоизоляции внутренней противообледенительной системы и тепловая деформация носка крыла	**В.** Образование микровихрей (турбулизация), приводящее к локальному увеличению сил поверхностного трения

Правильный ответ: 1 — Б, 2 — В, 3 — А.

Задание 3. Расположите этапы физического процесса в правильной логической последовательности – от появления поверхностного эксплуатационного дефекта до ухудшения балансировки самолета:

А) Нарушение ламинарного течения и смещение точки перехода пограничного слоя вперед по потоку.

Б) Появление локальной отрывной зоны (срыва потока) на верхней поверхности крыла при меньшем угле атаки.

В) Образование микротрещины, отслоения краски или скола обшивки в зоне максимального разрежения на крыле.

Г) Резкое уменьшение коэффициента подъемной силы (Cy) на поврежденной консоли крыла и появление кренящего момента самолета.

Д) Рост местного профильного сопротивления и падение давления в пограничном слое позади дефекта.

Правильный ответ: В →А →Д →Б →Г.

4. Самостоятельная работа студентов способствует развитию ответственности, организованности и творческого подхода к решению учебных и профессиональных задач. Основными видами самостоятельной деятельности являются подготовка к аудиторным занятиям, осмысление и систематизация учебной информации, уточнение сложных вопросов на консультациях, подготовка к лабораторным занятиям и проверочным работам, выполнение научных исследований, а также изучение дополнительной литературы и периодических изданий. В рамках самостоятельной работы студентам предлагаются темы для докладов, направленных на развитие навыков анализа, критического осмысления и логичного изложения профессиональной информации.

5. Экзамен. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена в 5 семестре. К моменту сдачи экзамена должны быть успешно пройдены все формы текущего контроля. Экзамен позволяет оценить уровень освоения компетенций, сформированных в ходе изучения дисциплины, и подтверждают готовность студентов к применению компьютерных технологий в профессиональной деятельности.

Вопросы к экзамену

1. Основные физические свойства воздуха (плотность, вязкость, сжимаемость) и их зависимость от высоты полета. Международная стандартная атмосфера (МСА).

2. Модели жидкости и газа в аэродинамике (сплошная среда, идеальный и реальный газ, несжимаемая жидкость).
3. Линии тока, траектории частиц и трубка тока. Уравнение неразрывности (сохранения массы) для несжимаемого и сжимаемого потоков.
4. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной несжимаемой жидкости. Физический смысл статического, динамического и полного давлений.
5. Применение уравнения Бернулли для измерения скорости полета. Устройство и принцип работы трубки Пито–Прандтля.
6. Геометрические характеристики профиля крыла (хорда, относительная толщина, относительная кривизна) и их влияние на обтекание.
7. Физическая природа возникновения подъемной силы и лобового сопротивления. Теорема Жуковского «в малом».
8. Понятие пограничного слоя. Ламинарный и турбулентный пограничные слои, распределение скоростей и сил трения в них.
9. Влияние шероховатости, волнистости, заклепочных швов и микродефектов обшивки на точку перехода пограничного слоя и сопротивление трения.
10. Критический угол атаки и физическая сущность срыва потока (отрыва пограничного слоя). Влияние деформаций носка крыла на срывные характеристики.
11. Индуктивное сопротивление крыла конечного размаха. Концевые вихри и способы уменьшения индуктивного сопротивления (крылышки Уиткомба, винглеты).
12. Полное аэродинамическое сопротивление самолета и его составляющие (профильное, индуктивное, волновое, интерференционное).
13. Аэродинамическое качество самолета: определение, зависимость от угла атаки, полярная диаграмма крыла.
14. Скорость звука в газе и число Маха. Классификация режимов полета по числам Маха.
15. Особенности обтекания тел при околозвуковых скоростях. Понятие критического числа Маха (Mкр).
16. Волновой кризис: причины возникновения, смещение центра давления, волновое сопротивление и способы его затягивания (стреловидность крыла).
17. Особенности сверхзвукового обтекания тел. Ударные волны (прямые и косые скачки уплотнения), изменение параметров газа за скачком.
18. Аэродинамические принципы механизации крыла. Назначение и физика работы взлетно-посадочной механизации (закрылки, предкрылки, щитки).
19. Влияние обледенения планера самолета на его аэродинамические характеристики (изменение формы профиля, падение подъемной силы, критический угол атаки).
20. Влияние эксплуатационных повреждений планера (вмятины, пробоины, зазоры в лючках и узлах навески рулей), выявляемых методами неразрушающего контроля, на устойчивость, управляемость и балансировку самолета.

Критерии и показатели оценивания ответов на экзамене

Оценка «5» (Отлично)

Выставляется студенту, который демонстрирует системные, глубокие и полные знания по всем разделам аэродинамики, владеет физико-математическим аппаратом, безошибочно выводит формулы (например, уравнение Бернулли или формулу подъемной силы Жуковского), дает четкие определения физическим понятиям.Уверенно увязывает теоретические аспекты аэродинамики с практикой эксплуатации (понимает влияние микродефектов обшивки на ламинарный пограничный слой, знает физику срыва потока и волнового кризиса). Логически грамотно, аргументированно строит устный ответ, подкрепляя его графиками, схемами обтекания профилей и полярными диаграммами.

Оценка «4» (Хорошо)

Выставляется студенту, который показывает твердые, достаточно полные знания учебного материала. Проявляет грамотное понимание основных законов аэродинамики, но при выводе сложных уравнений или графических построений может допустить 1–2 несущественные неточности, которые самостоятельно исправляет после наводящего вопроса. Правильно понимает взаимосвязь между эксплуатационным состоянием планера (дефектами, выявляемыми эндоскопами или тепловизорами) и ухудшением аэродинамического качества, однако испытывает легкие затруднения при детальном описании физического механизма этих процессов. Ответ изложен последовательно и профессиональным языком, но студенту требуется незначительное время для формулирования выводов при нестандартных вопросах.

Оценка «3» (Удовлетворительно)

Выставляется студенту, который имеет лишь базовые знания, достаточные для освоения минимума программы. Студент ориентируется в основных терминах, знает базовые формулировки законов, но не может самостоятельно вывести формулы или правильно построить график распределения давления по профилю. Допускает ошибки в принципиальных схемах. Понимает общие принципы (например, что обледенение или вмятина на крыле — это плохо для полета), но путает причинно-следственные связи (не может объяснить разницу между ламинарным и турбулентным слоем, путает профильное сопротивление с индуктивным). Ответ фрагментарный, неуверенный. Студент может отвечать на наводящие вопросы только в рамках прямых определений из учебника, испытывает серьезные трудности при попытке применить теорию к практике эксплуатации.

Оценка «2» (Неудовлетворительно)

Выставляется студенту, у которого обнаруживаются серьезные пробелы в базовых знаниях курса. Студент не знает фундаментальных законов (уравнение неразрывности, закон Бернулли), не имеет представления о физической природе подъемной силы, не ориентируется в базовой терминологии. Не может связать геометрию крыла с его обтеканием, полностью отсутствуют навыки применения знаний для решения эксплуатационных задач. Допускает грубые фактические ошибки в ответах. Наводящие вопросы преподавателя не помогают исправить положение. Программа дисциплины не освоена.

6. Перечень основной и дополнительной литературы

6.1 Основная литература

1. Чаплыгин, С. А. Динамика полета. Избранные работы / С. А. Чаплыгин. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 268 с. — (Антология мысли). — ISBN 978-5-534-04105-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/563287
2. Проворов, И. С. Беспилотные летательные аппараты : учебник для вузов / И. С. Проворов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 152 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20811-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/581538
3. Чаплыгин, С. А. Механика жидкости и газа. Математика. Общая механика. Избранные труды / С. А. Чаплыгин. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 429 с. — (Антология мысли). — ISBN 978-5-534-03803-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/563288

6.2 Дополнительная литература

1. Кузнецов, В. А. Гидрогазодинамика : учебник для вузов / В. А. Кузнецов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 120 с. — (Высшее

образование). — ISBN 978-5-534-11813-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/566434
2. *Соловов, А. В.* Конструкция самолетов: фундаментальные основы и классика типовых решений : учебник для вузов / А. В. Соловов, А. А. Меньшикова. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 385 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13767-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/567623

6.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Система дистанционного обучения СмолГУ (moodle.smolgu.ru).
2. Национальный открытый университет (intuit.ru).
3. Научная библиотека Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (www.lib.msu.su/index.html).
4. Научная библиотека Санкт-Петербургского государственного университета (www.lib.pu.ru).
5. Российская Государственная Библиотека (www.rsl.ru).
6. Научная электронная библиотека (elibrary.ru).

7. Материально - техническое обеспечение

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, в том числе:

- стандартная учебная мебель (50 посадочных мест);
- стол и стул для преподавателя (по 1 шт.);
- кафедра для лектора (1 шт.);
- доска настенная трехэлементная (1 шт.);
- переносной настенный экран ViewScreen (1 шт.);
- мультимедийный проектор NEC (1 шт.);
- ноутбук Asus (1 шт.);
- колонки Genius (1 пара)

Помещение для самостоятельной работы, оснащенное компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду организации, в том числе: компьютеры (12 шт.); компьютерный студенческий стол (12 шт.); стол и стул для преподавателя (по 1 шт.); доска настенная трехэлементная (1 шт.).

8. Программное обеспечение

Microsoft Open License (WindowsXP, 7, 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», а также доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.