

Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Двигатели воздушных судов

(Наименование дисциплины)

**«25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей,
направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и
беспилотных авиационных систем»»**

(Направление подготовки / Профиль)

Бакалавр

(Квалификация)

Кафедра разработчик

Естественных наук и профессиональных коммуникаций

Год набора

2027

Вид учебной деятельности	Трудоемкость (объем) дисциплины
	Очная форма
	д
Зачетные единицы	3
Общее количество часов	108
Аудиторные часы контактной работы обучающегося с преподавателями:	32
– Лекционные (Л)	16
– Практические (ПЗ)	16
– Лабораторные (ЛЗ)	
– Семинарские (СЗ)	
Самостоятельная работа обучающихся (СРО)	22
К (Р-Г) Р (П) (+;-)	
Тестирование (+;-)	
ДКР (+;-)	
Зачет (+;-)	
Зачет с оценкой (+;- (Кол-во часов))	
Экзамен (+;- (Кол-во часов))	+ (54)

Волгоград 2026

Содержание

Раздел 1. Организационно-методический раздел	3
Раздел 2. Тематический план.....	6
Раздел 3. Содержание дисциплины.....	7
Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся	9
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	11
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	16
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	19
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	20
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	22

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Двигатели воздушных судов» входит в «Обязательную часть» подготовки обучающихся по направлению подготовки «25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»»

Целью дисциплины является формирование **компетенций** (в соответствии с ФГОС ВО и требованиями к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО)):

ОПК-3. Способен применять теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования

Дескрипторы универсальной компетенции:

ОПК-3.1. Демонстрирует понимание теории технической эксплуатации, основ конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования.

ОПК-3.2. Применяет теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач.

Перечисленные компетенции формируются в процессе достижения индикаторов компетенций:

Обобщенная трудовая функция/ трудовая функция	Код и наименование дескриптора компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенций (из ПС)
	ОПК-3.1. Демонстрирует понимание теории технической эксплуатации, основ конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования. ОПК-3.2. Применяет теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных	Знает: ИД 1 ОПК-3.1 Теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 2 ОПК-3.2 Порядок и принципы применения теории технической эксплуатации, основ конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного

	судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач.	оборудования при решении профессиональных задач (без привязки к профессиональному стандарту). Умеет: ИД 3 ОПК-3.1 Оценить техническое состояние и потребность в техническом обслуживании и ремонте конструкций и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 4 ОПК-3.2 Применять теорию технической эксплуатации, основы конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач (без привязки к профессиональному стандарту). Имеет навыки: ИД 5 ОПК-3.1 Оценки технического состояния и потребности в техническом обслуживании и ремонте конструкций и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 6 ОПК-3.2 Применения теории технической эксплуатации, основ
--	---	---

		конструкции и систем воздушных судов, электрических и электронных источников питания приборного оборудования и систем индикации воздушных судов, систем управления воздушным судном и бортовых систем навигационного и связного оборудования при решении профессиональных задач (без привязки к профессиональному стандарту).
--	--	---

1.2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

направления подготовки «**25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»»**

№	Предшествующие дисциплины (дисциплины, изучаемые параллельно)	Последующие дисциплины
1	2	3
1	Основы инженерной деятельности	Основы беспилотных авиационных систем
2	Основы схемотехники	Системы и оборудование воздушных судов

1.3. Нормативная документация

Рабочая программа учебной дисциплины составлена на основе:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки «**25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»»**;
- Учебного плана направления подготовки «**25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, направленность (профиль) «Инженерно-техническое обеспечение устройств и беспилотных авиационных систем»»** 2027 года набора;
- Образца рабочей программы учебной дисциплины (приказ № 113-О от 01.09.2021 г.).

**Раздел 2. Тематический план
Очная форма обучения (полный срок)**

№	Тема дисциплины	Трудоемкость				
		Всего	Аудиторные занятия		СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
			Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1. Введение. Рабочий процесс и термодинамика газотурбинных двигателей (ГТД)	4	2		2	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
2	Тема 2. Входные устройства и выходные сопла	6	2	2	2	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
3	Тема 3. Компрессоры авиационных ГТД	6	2	2	2	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
4	Тема 4. Камеры сгорания	10	2	4	4	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
5	Тема 5. Газовые турбины	6	2	2	2	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
6	Тема 6. Конструктивные схемы авиационных двигателей	6	2		4	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
7	Тема 7. Вспомогательные системы и эксплуатация силовых установок	10	2	4	4	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
8	Тема 8. Силовая установка самолета как единая система	6	2	2	2	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
Вид промежуточной аттестации(Экзамен)		54				
Итого		108	16	16	22	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение. Рабочий процесс и термодинамика газотурбинных двигателей (ГТД)

- **Содержание:** Классификация авиационных двигателей. Идеальный цикл Брайтона для ГТД. Реальный рабочий процесс. Параметры состояния газа (P, T, ρ, P, T, ρ) в характерных сечениях двигателя. Степень повышения давления ($\pi^* = p_3^*/p_2^*$) и температура газа перед турбиной как основные параметры эффективности.

- **Ключевые понятия:** Цикл Брайтона, изоэнтропийный КПД, степень повышения давления, теплота сгорания топлива.

Тема 2. Входные устройства и выходные сопла

- **Содержание:** Назначение входных устройств. Сверхзвуковые и дозвуковые воздухозаборники. Регулирование площади входа. Выходные сопла: сужающиеся, расширяющиеся (Лавалья). Тяговые характеристики сопел. Явление перерасширения потока и методы борьбы с ним (эжекторные сопла, отклоняемый вектор тяги).

- **Ключевые понятия:** Коэффициент восстановления полного давления, критическое отношение давлений, скачки уплотнения.

Тема 3. Компрессоры авиационных ГТД

- **Содержание:** Осевые и центробежные компрессоры. Элементарная ступень осевого компрессора: рабочее колесо и направляющий аппарат. Степень сжатия ступени. Характеристики компрессора, границы устойчивой работы. Понятие о газодинамической устойчивости (помпаж) и механизации компрессора (ВНА, клапаны перепуска).

- **Ключевые понятия:** Углы атаки лопаток, треугольники скоростей, коэффициент напора, помпаж.

Тема 4. Камеры сгорания

- **Содержание:** Типы камер сгорания: трубчатые, кольцевые, трубчато-кольцевые. Процесс смесеобразования и горения. Поле температур на выходе из камеры. Загрязнение атмосферы продуктами сгорания (оксиды азота NO_x , углерода CO). Организация фронтного устройства.

- **Ключевые понятия:** Коэффициент полноты сгорания, потери полного давления в камере, форсунка, зона рециркуляции.

Тема 5. Газовые турбины

- **Содержание:** Преобразование энергии газового потока в механическую работу. Охлаждение лопаток газовых турбин (конвективное, пленочное, транспирационное). Многоступенчатые турбины высокого и низкого давления. Определение числа ступеней турбины исходя из требуемой мощности для привода компрессора.

- **Ключевые понятия:** Работа турбины, охлаждающий воздух, ресурс лопаток, рабочая лопатка.

Тема 6. Конструктивные схемы авиационных двигателей

- **Содержание:** Турбореактивные двигатели (ТРД): одновальные и двухвальные. Двухконтурные турбореактивные двигатели (ТРДД): малые и высокие степени двухконтурности. Особенности винтовентиляторных двигателей (НВМГ/Unducted Fan). Турбовинтовые (ТВД) и турбовальные двигатели. Сравнение удельного расхода топлива различных схем.

- **Ключевые понятия:** Степень двухконтурности (π_{mm}), смешение потоков, выносной редуктор, эквивалентная мощность.

Тема 7. Вспомогательные системы и эксплуатация силовых установок

- **Содержание:** Топливная система: насосы, коллекторы, регуляторы подачи. Масляная система: суфлирование, охлаждение масла. Система запуска (воздушные стартеры, электростартеры). Противообледенительная система входного устройства. Автоматизированный контроль параметров работы СУ (FADEC — Full Authority Digital Engine Control).

- **Ключевые понятия:** Высотный корректор, гидромеханический регулятор, расход топлива, вибрация роторов.

Тема 8. Силовая установка самолета как единая система

- **Содержание:** Аэродинамическое взаимодействие двигателя и планера. Интерференция мотогондолы и крыла. Размещение двигателей (на пилонх под крылом, в хвостовой части фюзеляжа, встроенные). Отказобезопасность: полет на одном двигателе, авторотация. Шумы силовых установок и методы их снижения (шевроны на срезе сопла).
- **Ключевые понятия:** Пилон подвески, мидель мотогондолы, минимально эволютивная скорость, акустическое сопротивление.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Введение. Рабочий процесс и термодинамика газотурбинных двигателей (ГТД)
ПЗ 2	Тема 2. Входные устройства и выходные сопла
ПЗ 3, 4	Тема 3. Компрессоры авиационных ГТД
ПЗ 5	Тема 4. Камеры сгорания
ПЗ 6, 7	Тема 5. Газовые турбины
ПЗ 8	Тема 6. Конструктивные схемы авиационных двигателей

3.3. Образовательные технологии

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема занятия	Вид учебного занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	% учебного времени
1	2	3	4	5
1	Тема 1. Введение. Рабочий процесс и термодинамика газотурбинных двигателей (ГТД)	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Входные устройства и выходные сопла	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Компрессоры авиационных ГТД	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Камеры сгорания	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Газовые турбины	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Конструктивные схемы авиационных двигателей	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Вспомогательные системы и эксплуатация силовых установок	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Силовая установка самолета как единая система	ПЗ	Деловая игра	75
Итого				29,68%

Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся

4.1. Организация самостоятельной работы обучающихся

№	Тема дисциплины	№ вопросов	№ рекомендуемой литературы
1	2	3	4
1	Тема 1. Введение. Рабочий процесс и термодинамика газотурбинных двигателей (ГТД)	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Входные устройства и выходные сопла	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Компрессоры авиационных ГТД	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Камеры сгорания	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Газовые турбины	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Конструктивные схемы авиационных двигателей	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Вспомогательные системы и эксплуатация силовых установок	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Силовая установка самолета как единая система	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. Цикл Брайтона: термодинамический анализ идеального цикла газотурбинного двигателя Влияние степени повышения давления ($\pi^* \rho_i^* \pi^*$) и температуры газа перед турбиной ($T_g^* T_{г}^* T_g^*$) на термический КПД и удельную работу.

2. Помпаж компрессора: физические причины возникновения и методы активной борьбы с ним Роль входного направляющего аппарата (ВНА), клапанов перепуска воздуха и систем FADEC в обеспечении газодинамической устойчивости.

3. Сравнительный анализ центробежных и многоступенчатых осевых компрессоров Области применения, преимущества и недостатки различных типов ступеней сжатия в современных авиационных двигателях.

4. Трубчатые, кольцевые и трубчато-кольцевые камеры сгорания Особенности конструкции фронтального устройства, смесеобразования и распределения температурного поля на выходе.

5. Методы охлаждения лопаток газовых турбин Конвективно-пленочное охлаждение, транспирационное охлаждение и использование термобарьерных покрытий (ТБП).

6. Материалы высокотемпературного тракта ГТД Применение монокристаллических суперсплавов, интерметаллидов и керамических композитов для изготовления горячих деталей.

7. Двухконтурные турбореактивные двигатели (ТРДД): влияние степени двухконтурности на экономичность Эволюция двигателей от первых поколений (JT3D, Д-30) до современных сверхвысокодвухконтурных установок (типа Ultra High Bypass — например, Rolls-Royce Trent XWB или ПД-14/ПД-35).

8. Турбовальные двигатели вертолетов: свободная и связанная силовые турбины Особенности передачи мощности на несущий винт через главный редуктор и специфика высотно-скоростных характеристик.

9. Винтовентиляторные двигатели (открытые роторы): перспективы возрождения концепции Компромисс между высокой топливной эффективностью винтов большой саблевидности и проблемой высокого уровня шума.

10. Форсажные камеры сгорания ТРДФ Механизм дожигания топлива за турбиной, регулирование геометрии форсажной трубы и влияние на дальность полета истребителей.

11. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели (ПВРД) и гиперзвуковые технологии Отсутствие вращающихся частей, горение при сверхзвуковой скорости потока и концепция комбинированного цикла (ГПВРД).

12. Электрические и гибридные силовые установки в авиации Распределенная тяга, использование аккумуляторных батарей и водородных топливных элементов как путь к декарбонизации отрасли.

13. Использование альтернативных видов топлива: Sustainable Aviation Fuel (SAF) и сжиженный природный газ (СПГ) Требования к химическому составу авиационного керосина (ТС-1 / Jet A-1) и совместимость экологических топлив с существующими конструкциями.

14. Топливная автоматика и системы управления двигателем FADEC Переход от гидромеханических регуляторов к полностью цифровым системам контроля параметров (ND1, ND2, TGT, P3/T3).

15. Масляные системы авиационных ГТД: суфлирование и возврат масла Проблемы вспенивания масла при отрицательных перегрузках и работа масляных баков с лабиринтными уплотнениями.

16. Шумы авиационных двигателей и методы их снижения Физическая природа шума вентилятора и реактивной струи. Применение шевронов (chevrons) на срезе сопла и звукопоглощающих конструкций (ЗПК).

17. Противообледенительные системы воздухозаборников и входных направляющих аппаратов Способы обогрева горячим воздухом от компрессора и электротермические методы защиты от обледенения.

18. Авторотация многолопастных роторов ГТД при отказе двигателя Анализ аэродинамического сопротивления неработающего каскада («миллинг») и его влияние на планирование самолета.

19. Модульная конструкция современных авиадвигателей Преимущества блочно-модульного принципа сборки для сокращения времени технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

20. Наземные вспомогательные силовые установки (ВСУ/APU) Назначение ВСУ, ее типичная схема (микро-ГТУ) и роль в обеспечении автономности самолета на перроне без использования аэродромного кондиционера.

Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся

Фонд оценочных средств по дисциплине представляет собой совокупность контролируемых материалов, предназначенных для измерения уровня достижения обучающимися установленных результатов образовательной программы. ФОС по дисциплине используется при проведении оперативного контроля и промежуточной аттестации обучающихся. Требования к структуре и содержанию ФОС дисциплины регламентируются Положением о фонде оценочных материалов по программам высшего образования – программам бакалавриата, магистратуры.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств Очная форма обучения (полный срок)

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Введение. Рабочий процесс и термодинамика газотурбинных двигателей (ГТД)	УО		ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
2	Тема 2. Входные устройства и выходные сопла	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
3	Тема 3. Компрессоры авиационных ГТД	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
4	Тема 4. Камеры сгорания	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
5	Тема 5. Газовые турбины	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
6	Тема 6. Конструктивные схемы авиационных двигателей	УО		ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
7	Тема 7. Вспомогательные системы и эксплуатация силовых установок	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2

8	Тема 8. Силовая установка самолета как единая система	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ОПК-3.1 ИД 2 ОПК-3.2 ИД 3 ОПК-3.1 ИД 4 ОПК-3.2 ИД 5 ОПК-3.1 ИД 6 ОПК-3.2
---	---	----	----	-----	--

Условные обозначения оценочных средств (Столбцы 3, 4, 5):

УО – устный (фронтальный, индивидуальный, комбинированный) опрос;

ПРВ – проверка рефератов, отчетов, рецензий, аннотаций, конспектов, графического материала, эссе, переводов, решений заданий, выполненных заданий в электронном виде и т.д.;

МШ – Метод мозгового штурма;

КМ – Кейс-метод;

ДИ – Деловая игра;

ЛС – Лекция-ситуация.

5.2. Оценочные средства текущего контроля

Перечень практических (семинарских) заданий

Задачи

Базовый уровень (термодинамика и основные параметры)

Задание 1. Расчет параметров цикла Брайтона Идеальный цикл ТРД протекает с максимальной температурой $T_{\max}=1400\text{ K}$. Степень повышения давления в компрессоре $\pi_c=20$. Температура воздуха на входе $T_H=288\text{ K}$. Показатель адиабаты $k=1,4$, теплоемкость $c_p=1005\text{ Дж/(кг·K)}$. Определить полезную удельную работу цикла $l_{ц}$. *Цель:* Отработка навыков расчета термического КПД и работы идеального газотурбинного цикла.

Задание 2. Уравнение неразрывности для проточной части На входе в осевой компрессор площадь проходного сечения $F_1=0,5\text{ м}^2$, скорость потока $V_1=150\text{ м/с}$, плотность $\rho_1=1,2\text{ кг/м}^3$. На выходе из компрессора плотность снизилась до $\rho_2=3,5\text{ кг/м}^3$, а скорость возросла до $V_2=160\text{ м/с}$. Определить площадь выходного сечения F_2 . *Цель:* Применение закона сохранения массы к тракту двигателя.

Задание 3. Степень повышения давления каскада Осевой компрессор состоит из двух каскадов: низкого давления (КНД) и высокого давления (КВД). Степень повышения давления КНД $\pi_{кнд}=2,5$, степень повышения давления КВД $\pi_{квд}=8$. Определить общую степень повышения давления двигателя π_{Σ} . *Цель:* Понимание мультипликативной связи степеней сжатия модулей ГТД.

Задание 4. Тяга реактивного сопла Массовый расход газа через сопло $G_g=50\text{ кг/с}$. Скорость истечения газов $V_c=600\text{ м/с}$. Скорость полета самолета $V_{п}=250\text{ м/с}$. Площадь выходного сечения $F_c=0,7\text{ м}^2$. Статическое давление на срезе сопла равно атмосферному ($P_c=P_{\text{атм}}$). Определить тягу двигателя $P_{тр}$. *Цель:* Навык применения формулы тяги в простейшем случае (без учета разности давлений).

Задание 5. Эффективный КПД силовой установки Удельная работа цикла составляет $l_{ц}=400\text{ кДж/кг}$. Массовый расход воздуха $G_v=100\text{ кг/с}$. Полезная мощность, затрачиваемая на преодоление лобового сопротивления самолета при скорости $V=200\text{ м/с}$, равна $N_{пол}$. Химическая энергия топлива, сгорающего за секунду, $Q_{хим}=60\text{ МВт}$. Определить эффективный КПД двигателя η_e . *Цель:* Оценка полноты преобразования химической энергии топлива в полезную работу движения.

Средний уровень (расчет узлов и процессов)

Задание 6. Работа ступени осевого компрессора Средний диаметр ступени $D_{ср}=0,5\text{ м}$. Частота вращения ротора $n=10000\text{ об/мин}$. Окружная скорость U . Из треугольников скоростей известно изменение окружной

составляющей абсолютной скорости $\Delta C_u = 150 \Delta C_u = 150$ м/с. Определить удельную работу ступени $h_{ст}$. *Цель:* Использование уравнения Эйлера для турбомашин.

Задание 7. Охлаждение лопаток турбины Для охлаждения лопатки первой ступени турбины отбирается воздух из компрессора с давлением $P_{охл} = 2P_{охл} = 2$ МПа и температурой $T_{охл} = 600 T_{охл} = 600$ К. Температура газа перед турбиной $T_g = 1600 T_g = 1600$ К. Определить необходимый коэффициент избытка охлаждающего воздуха $\alpha_{охл}$, если допустимая температура металла лопатки не должна превышать 950 К (упрощенная модель смешения потоков). *Цель:* Анализ баланса теплоты при защите горячих деталей ГТД.

Задание 8. Двухконтурный двигатель (ТРДД) Степень двухконтурности двигателя $m = 6 m = 6$. Тяга внутреннего контура $P_I = 20 P_I = 20$ кН. Определить суммарную тягу двигателя P_{Σ} и удельный расход топлива, если предположить, что внутренний контур потребляет топливо как обычный ТРД, а внешний создает тягой без затрат топлива (идеализированно). *Цель:* Понимание распределения тяги между контурами и влияния m на экономичность.

Задание 9. Характеристики камеры сгорания В камеру сгорания поступает воздух с температурой $T_{вых.к} = 600 T_{вых.к} = 600$ К. Теплотворная способность топлива $H_u = 43 H_u = 43$ МДж/кг. Общий коэффициент избытка воздуха $\alpha = 2,5 \alpha = 2,5$. Определить температуру газа на выходе из камеры сгорания T_g (используя среднюю теплоемкость воздуха $c_p \approx 1150 c_p \approx 1150$ Дж/(кг·К) после горения). *Цель:* Упрощенный тепловой баланс камеры сгорания.

Задание 10. Потери полного давления во входном устройстве Самолет летит со скоростью $M = 0,8 M = 0,8$. Атмосферное статическое давление $P_H = 40 P_H = 40$ кПа. Коэффициент восстановления полного давления во входном устройстве $\sigma_{вх} = 0,97 \sigma_{вх} = 0,97$. Рассчитать полное давление воздуха $P_{вх}$ на входе в компрессор. *Цель:* Определение располагаемой энергии воздуха перед первым каскадом компрессора.

Продвинутый уровень (комплексные задачи и динамика)

Задание 11. Баланс мощностей турбокомпрессора Компрессор требует мощности $N_K = 10 N_K = 10$ МВт для сжатия воздуха. КПД механической передачи между валами $\eta_m = 0,99 \eta_m = 0,99$. Газовая турбина развивает внутреннюю мощность $N_{ТНТ}$. Пренебрегая отбором воздуха на самолетные нужды, определить необходимую работу одного килограмма газа в турбине $l_{ТТ}$, если расход газа равен расходу воздуха $G = 10 G = 10$ кг/с. *Цель:* Составление уравнения энергетического баланса ротора ВД/НД.

Задание 12. Авторотация и торможение двигателем При отказе двигателя в полете винт переходит на режим авторотации, создавая отрицательную тягу -5 кН. Если пилот увеличивает угол установки лопастей (шаг винта), тормозной момент возрастает. Как изменится частота вращения ротора n , если сопротивление в коробке приводов остается неизменным? *Цель:* Качественный анализ динамики переходных процессов при отказе СУ.

Задание 13. Форсажный режим На форсаж подается дополнительное топливо, увеличивающее температуру перед соплом с $T_{ф} = 900 T_{ф} = 900$ К до $T_{ф.форс} = 1800 T_{ф.форс} = 1800$ К. Считая процесс расширения в сопле изэнтропийным, оцените примерный прирост скорости истечения $V_{с.форс}$ относительно крейсерского режима $V_c = 500 V_c = 500$ м/с. *Цель:* Оценка потенциала роста тяги за счет дожигания керосина.

Задание 14. Выбор частоты вращения для редуктора ТВД Свободная турбина турбовинтового двигателя вращается со скоростью $n_T = 20000 n_T = 20000$ об/мин. Воздушный винт эффективно работает при скоростях $n_{винт} \leq 1500 n_{винт} \leq 1500$ об/мин. Рассчитать требуемое передаточное число редуктора i . *Цель:* Практический инженерный расчет кинематики привода винтового ЛА.

Задание 15. Запас газодинамической устойчивости (ЗГДУ) Характеристика компрессора показывает линию совместной работы с характеристиками сети (проточной части). При уменьшении расхода воздуха через двигатель рабочая точка смещается влево. Если граница устойчивой работы (граница помпажа) находится при значении приведенного расхода $q(\lambda)_{гр} = 0,9 q(\lambda)_{гр} = 0,9$ кг/с, а текущий расход $q(\lambda)_{тек} = 0,95 q(\lambda)_{тек} = 0,95$ кг/с, рассчитать запас устойчивости в процентах по стандартной формуле ЗГДУ

$$= (G_{\text{тек}} - G_{\text{гр}}) / G_{\text{гр}} \cdot 100\% (G_{\text{тек}} - G_{\text{гр}}) / G_{\text{гр}} \cdot 100\%$$
 Цель: Определение границ безопасной эксплуатации двигателя.

5.3. Тематика письменных работ обучающихся

1. Цикл Брайтона: термодинамический анализ идеального и реального циклов ГТД Влияние параметров цикла (степени повышения давления $\pi^* \cdot p_i^* \cdot \pi^*$ и температуры газа перед турбиной $T_{г*} T_{г*}^* T_{г*}$) на удельную работу и термический КПД двигателя.

2. Помпаж компрессора: природа возникновения вращающегося срыва и методы активной борьбы Роль входного направляющего аппарата (ВНА), клапанов перепуска воздуха и цифровых систем управления FADEC в обеспечении газодинамической устойчивости.

3. Сравнительный анализ осевых и центробежных компрессоров авиационных двигателей Аэродинамические преимущества многоступенчатых осевых машин против компактности и простоты центробежных ступеней в вспомогательных силовых установках (ВСУ) и малых БПЛА.

4. Камеры сгорания современных ГТД: от трубчатых до кольцевых конструкций Особенности смесеобразования, зоны обратных токов, высотный запуск и экологические аспекты снижения выбросов оксидов азота (NO_x).

5. Охлаждение лопаток газовых турбин: эволюция методов защиты горячих деталей Конвективно-плёночное охлаждение, перфорация выходных отверстий лазерной резкой и применение керамических теплозащитных покрытий (ТБП/Thermal Barrier Coatings).

6. Концепция двухконтурности: влияние степени двухконтурности (mm) на экономичность и шум Эволюция двигателей от первых поколений ТРДД (низкая степень двухконтурности) к современным турбовентиляторным установкам сверхвысокой степени двухконтурности (UHBR).

7. Турбовинтовые двигатели и винтовентиляторы (открытые роторы): баланс между эффективностью и скоростью полета Анализ аэродинамики саблевидных лопастей, проблемы редуктора и акустического комфорта при возвращении к концепции незакапотированных винтов.

8. Форсажные камеры сгорания: физика дожига топлива за турбиной Геометрия форсажной трубы, стабилизация пламени в сверхзвуковом потоке и цена значительного прироста тяги в виде расхода топлива.

9. Силовые установки вертолетов: особенности турбовальных двигателей со свободной турбиной Принцип работы кинематически несвязанного вала свободной турбины, характеристики авторотации и специфика высотно-скоростных кривых мощности.

10. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели (ПВРД) и гиперзвуковые технологии Отсутствие движущихся частей, горение при сверхзвуковой скорости потока и перспективы создания комбинированных двигателей (ГПВРД) для авиакосмических систем.

11. Вспомогательные силовые установки (ВСУ/APU): назначение, типичные конструкции и роль в обеспечении автономности Использование микро-ГТУ для запуска маршевых двигателей, кондиционирования кабины и выработки электроэнергии на земле без использования аэродромных источников питания.

12. Материалы высокотемпературного тракта ГТД: монокристаллические суперсплавы и интерметаллиды Методы направленной кристаллизации жаропрочных никелевых сплавов для обеспечения ресурса лопаток первой ступени турбины при температурах выше их точки плавления.

13. Системы автоматического управления двигателем (FADEC): переход от гидромеханики к полной цифровизации Преимущества электронного регулирования подачи топлива, угла направляющих аппаратов и защиты от выхода за эксплуатационные ограничения.

14. Альтернативные виды авиационного топлива: SAF (устойчивое авиационное топливо) и водород Требования к модификациям камер сгорания и топливной автоматики существующих двигателей при переходе на синтетический керосин или криогенное топливо.

15. Акустика авиационных двигателей: источники шума и методы его снижения Физическая природа шума вентилятора, реактивной струи и компрессора. Применение звукопоглощающих конструкций (ЗПК) и шевронов на срезе сопла для соответствия нормам ICAO Annex 16.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

Блок 1. Теоретические вопросы

1. Классификация авиационных двигателей. Отличительные признаки реактивных двигателей прямой реакции (ТРД, ТРДД) и непрямой реакции (ТВД, ТВлД). Понятие о ВРДК.

2. Идеальный цикл газотурбинного двигателя (цикл Брайтона). Процессы сжатия, подвода теплоты и расширения. Влияние степени повышения давления ($\pi^*\rho_i^{\pi^*}$) на термический КПД.

Входные устройства ГТД. Особенности сверхзвуковых воздухозаборников: система скачков уплотнения, регулирование площади горла, потери полного давления.

Осевой компрессор. Элементарная ступень: рабочее колесо и направляющий аппарат. Треугольники скоростей. Степень повышения давления ступени.

Помпаж и срыв в компрессоре. Физическая природа вращающегося срыва. Граница газодинамической устойчивости и методы ее регулирования (ВНА, клапаны перепуска).

Камеры сгорания ГТД. Типы конструкций (кольцевые, трубчато-кольцевые). Основные зоны (заградительная, зона смещения, зона горения). Поле температур на выходе.

7. Газовая турбина. Назначение и принцип работы. Причины необходимости охлаждения лопаток. Материалы высокотемпературного тракта.

8. Реактивное сопло. Сужающиеся и расширяющиеся (Лавалья) сопла. Критический режим течения. Явление перерасширения потока и тарелочные (ejector) сопла.

9. Двухконтурные двигатели (ТРДД). Определение степени двухконтурности ($\pi_{\text{двк}}$). Распределение энергии между внутренним и наружным контурами. Влияние $\pi_{\text{двк}}$ на удельный расход топлива.

10. Турбовинтовые двигатели (ТВД). Винтовая тяга и реактивная тяга. Понятие эквивалентной мощности. Роль редуктора в передаче крутящего момента на винт.

11. Форсажная камера (в ТРДФ). Процесс дожигания топлива за турбиной. Регулирование сечения форсажной трубы. Влияние форсажа на дальность полета.

12. Прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД). Отсутствие механических ступеней сжатия. Зависимость эффективности от числа Маха полета.

13. Вспомогательная силовая установка (ВСУ). Назначение ВСУ на борту самолета. Типичная схема микро-ГТУ.

14. Топливная система ГТД. Агрегаты подачи и управления: насос-регулятор, командный агрегат, распределитель топлива (топлив коллектора).

15. Масляная система ГТД. Функции смазки и охлаждения подшипниковых узлов. Система суфлирования полостей опор ротора.

16. Цифровые системы управления двигателем (FADEC). Преимущества полной электронной авторизации перед гидромеханическими регуляторами.

17. Авторотация ротора ГТД. Аэродинамическое состояние неработающего каскада («миллинг»). Влияние отказа двигателя на планирование самолета.

18. Шумы авиационных двигателей. Основные источники шума (вентилятор, струя, турбина). Методы снижения акустического нагружения (ЗПК, шевроны).

19. Противообледенительная система входного устройства. Способы обогрева кромки воздухозаборника горячим воздухом или электроимпульсом.

20. Модульная конструкция современных авиадвигателей. Принцип взаимозаменяемости модулей (вентилятор, КНД, камера сгорания, турбина) для упрощения ТОиР.

Блок 2. Практические и аналитические вопросы

1. Задача на баланс мощностей: Компрессор требует мощности $N_K = 12N_{\text{К}} = 12N_K = 12$ МВт. Механический КПД связи валов $\eta_m = 0,99$, $\eta_{\text{м}} = 0,99$, $\eta_m = 0,99$. Определить необходимую внутреннюю мощность турбины привода компрессора $N_{\text{ТН}} = N_{\text{ТН}}$, пренебрегая отбором воздуха на самолетные нужды. *Ожидаемый ответ:* Демонстрация понимания того, что турбина должна вырабатывать чуть больше мощности, чем потребляет компрессор, с учетом потерь в опорах.

2. Задача на расчет параметров цикла: Дано: температура торможения на входе $T_{H*}=288\text{ K}$, степень повышения давления $\pi_c=25$, адиабатный КПД компрессора $\eta_c=0,85$. Показатель адиабаты $k=1,4$. Рассчитать заторможенную температуру воздуха на выходе из компрессора T_{k*} . *Ожидаемый ответ:* Применение формулы политропного процесса с учетом коэффициента полезного действия вместо идеального изэнтропийного соотношения.

3. Анализ характеристик ТРДД: Как изменится удельная тяга и удельный расход топлива ($C_{уд}$) при увеличении степени двухконтурности m от 0,5 до 8? Объяснить физический смысл этого изменения для дозвуковых пассажирских самолетов. *Ожидаемый ответ:* Увеличение полетного КПД за счет отбрасывания большей массы воздуха с меньшей скоростью; снижение скорости истечения при сохранении расхода.

4. Расчет тяги: Массовый расход воздуха через двигатель $G_v=100\text{ кг/с}$. Скорость истечения $V_c=650\text{ м/с}$, скорость полета $V_p=220\text{ м/с}$. Давление на срезе сопла равно атмосферному. Найти тягу двигателя P . *Ожидаемый ответ:* Использование классической формулы прямой тяги $P=G_v(V_c - V_p)$.

5. Анализ запаса устойчивости: На графике характеристики компрессора рабочая точка сместилась влево к границе помпажа из-за уменьшения скорости полета при неизменном угле установки лопастей. Какие автоматические действия предпримет система FADEC для восстановления запаса газодинамической устойчивости (ЗГДУ)? *Ожидаемый ответ:* Открытие клапанов перепуска воздуха (КПВ), уменьшение угла установки ВНА, снижение подачи топлива.*

Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами)

Закрытого типа с одним верным вариантом ответа (5 вопросов)

Инструкция: Прочитайте текст и выберите один правильный ответ.

1. Как называется отношение полезной работы цикла к подведенной теплоте? а) Полетный КПД; б) Термический КПД; в) Эффективная мощность; г) Удельная тяга. *Правильный ответ: б)*

2. Какой физический процесс является основной причиной возникновения индуктивного сопротивления крыла? а) Сжатие воздуха в передней кромке; б) Образование концевых вихрей из-за перетекания потока; в) Трение воздуха об обшивку; г) Нагрев пограничного слоя. *Правильный ответ: б)*

3. При каком значении приведенной скорости течения (λ) массовый расход газа через сужающееся сопло достигает своего максимума? а) $\lambda=0$; б) $\lambda=0,5$; в) $\lambda=1$ (критическая скорость); г) $\lambda>1$. *Правильный ответ: в)*

4. Что произойдет с запасом газодинамической устойчивости компрессора при смещении рабочей точки к линии помпажа? а) Запас увеличится; б) Запас уменьшится до критического значения; в) Расход воздуха станет отрицательным; г) Частота вращения мгновенно упадет до нуля. *Правильный ответ: б)*

5. Для чего предназначен входной направляющий аппарат (ВНА) осевого компрессора? а) Для снижения температуры воздуха; б) Для закрутки потока перед первой ступенью с целью обеспечения оптимальных углов натекания; в) Для фильтрации пыли; г) Для измерения давления. *Правильный ответ: б)*

Закрытого типа с двумя верными вариантами ответа (5 вопросов)

Инструкция: Выберите два правильных ответа.

6. Какие два основных вида потерь энергии характерны для реального цикла ГТД по сравнению с идеальным циклом Брайтона? а) Потери на расширение в атмосфере; б) Потери полного давления в проточной части (трение, скачки уплотнения); в) Необратимость процессов сжатия и расширения (адиабатные потери); г) Потери массы топлива при хранении. *Правильный ответ: б), в)*

7. Укажите две основные функции маслосистемы авиационного двигателя: а) Создание подъемной силы; б) Смазка подшипниковых узлов роторов; в) Охлаждение деталей турбины и опор; г) Управление механизацией крыла. *Правильный ответ: б), в)*

8. Какие элементы конструкции относятся к горячей части турбовального двигателя вертолета? а) Редуктор несущего винта; б) Газогенератор (компрессор + камера сгорания + турбина компрессора); в) Свободная силовая турбина; г) Топливный бак фюзеляжа. *Правильный ответ: б), в)*

9. Какие параметры влияют на величину реактивной тяги двигателя при неизменном расходе воздуха? а) Цвет лакокрасочного покрытия мотогондолы; б) Разность между скоростью истечения газов и скоростью полета; в) Статическое давление на срезе сопла относительно атмосферного; г) Номер рейса самолета. *Правильный ответ: б), в)*

10. В каких типах двигателей обязательно наличие редуктора для понижения частоты вращения выходного вала? а) Турбореактивный двигатель (ТРД); б) Турбовинтовой двигатель (ТВД); в) Винтовентиляторный двигатель (НВМГ/Unducted Fan не считается классическим ТВД с редуктором в данном контексте, но требует его); г) Прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД). *Правильный ответ: б), в)*

На установление последовательности (5 вопросов)

Инструкция: Укажите правильную последовательность действий или этапов.

11. Расположите этапы рабочего процесса ТРДД в порядке следования потока воздуха:

1. Выходное устройство (сопло);
2. Входное устройство;
3. Компрессор низкого давления (КНД);
4. Камера сгорания;
5. Турбина высокого давления (ТВД). *Правильный ответ: 2-3-4-5-1*

12. Расположите типы летательных аппаратов в порядке возрастания типичных рабочих чисел Маха их силовых установок:

1. Истребитель-перехватчик ($M \approx 2,5M \approx 2,5$);
2. Легкомоторный поршневой самолет ($M \approx 0,2M \approx 0,2$);
3. Гиперзвуковой экспериментальный аппарат ($M > 5M > 5$). *Правильный ответ: 2-1-3*

13. Расположите процессы в камере сгорания в хронологическом порядке:

1. Воспламенение топливоздушной смеси от пускового устройства;
2. Распыление топлива форсунками;
3. Смещение паров топлива с основным воздухом;
4. Подача холодного воздуха во фронтовое устройство. *Правильный ответ: 4-2-3-1*

14. Расположите модули современного двухконтурного двигателя от входа к выходу:

1. Турбина вентилятора (ТНД);
2. Вентилятор (первая ступень КНД);
3. Камера сгорания;
4. Каскад высокого давления (КВД). *Правильный ответ: 2-4-3-1*

15. Расположите методы охлаждения лопаток турбины в порядке возрастания их технологической сложности и эффективности:

1. Конвективно-пленочное охлаждение;
2. Простое конвективное охлаждение (внутренние каналы);
3. Пористое (транспирационное) охлаждение. *Правильный ответ: 2-1-3*

На установление соответствия (4 вопроса)

Инструкция: Установите соответствие между термином и его определением/формулой.

16. Соответствие между типом двигателя и способом создания тяги:

А) ТРД	1) Основная тяга создается открытым винтом
Б) ТВД	2) Вся энергия газа идет на разгон струи через сопло
В) ТРДД	3) Тяга создается суммой потоков внутреннего и наружного контуров

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

17. Соответствие между элементом ГТД и физическим процессом:

А) Рабочее колесо компрессора	1) Преобразование внутренней энергии
-------------------------------	--------------------------------------

	газа в механическую работу
Б) Камера сгорания	2) Подвод механической энергии к воздуху для повышения давления
В) Газовая турбина	3) Подвод теплоты при практически постоянном давлении

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

18. Соответствие между режимом работы сопла и состоянием потока на выходе:

А) Докритический режим	1) Скорость на выходе равна местной скорости звука ($M=1$)
Б) Критический режим	2) Давление на срезе выше атмосферного, поток недорасширен
В) Перерасширение	3) Давление на срезе ниже атмосферного, поток сверхзвуковой

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

19. Соответствие между системой двигателя и ее агрегатом:

А) Топливная система	1) Главный привод-насос откачки масла
Б) Масляная система	2) Насос-регулятор (НР)
В) Система запуска	3) Воздушный стартер

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

Открытого типа (2 вопроса)

Инструкция: Запишите краткий ответ.

20. Как называется безразмерная величина, равная отношению действительной работы ступени компрессора к идеальной (изоэнтропийной) работе при той же степени повышения давления? *Правильный ответ: адиабатный коэффициент полезного действия (допустимо: адиабатный КПД).*

21. Как называется явление пульсаций давления малого расхода воздуха через компрессор, возникающее при глубокой посадке дроссельной характеристики вблизи границы помпажа? *Правильный ответ: вращающийся срыв.**

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. **Иноземцев, А. А.** Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учебник для студентов высших учебных заведений : [в 5 томах]. Т. 1. Общие сведения. Основные параметры и требования. Конструктивные и силовые схемы / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. — 2-е изд. — Москва : Директ-Медиа, 2022. — Электронная публикация: Санкт-Петербург, 2022. — Доступ: [Электронная библиотека СПбПУ](#).
2. **Григорьев, В. А.** Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели: учебное пособие / В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов и др.; под общей редакцией В. А. Григорьева и А. И. Ланшина. — 2-е изд., доп. — Самара : Издательство Самарского университета, 2022. — 452 с. — ISBN 978-5-7883-1715-1. — Доступ: [Электронный ресурс Самарского университета](#).

7.2. Дополнительная литература

3. **Ходацкий, С. А.** Конструкция и прочность двигателей воздушного судна : учебное пособие / С. А. Ходацкий. — Иркутск : ИФ МГТУ ГА, 2022. — Часть 1 : Конструкция основных узлов двигателя. — 119 с. — Доступ (требуется авторизация): [Электронно-библиотечная система Лань](#).
4. **Горошников, В. В.** Двигатели боевых самолетов России : учебное пособие / В. В. Горошников. — Рыбинск : Медиарост, 2022. — 616 с.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронно-библиотечная система -Цифровой образовательный ресурс IPR SMART – электронная библиотека по всем отраслям знаний [Электронный ресурс]. – URL:
2. <http://www.iprbookshop.ru>
3. Справочник математических формул <http://www.pm298.ru/>
4. Каталог ГОСТов - <https://snip.ruscable.ru/>
5. <http://www.consultant.ru/>— Консультант Плюс
6. <http://www.garant.ru/>— Гарант
7. Программное обеспечение для организации конференции.

Раздел 8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

8.1. Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся всех направлений подготовки).

Учебная аудитория оборудована:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютер для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся
- Симулятор БПЛА «AgroTechSim»
на 10 рабочих мест
- Симулятор БПЛА «DJI Simulator» на 20 рабочих мест
- Симулятор «FlightGear»
на 20 рабочих мест
- Симулятор «AirSim» на 20 рабочих мест
- Пульт дистанционного управления «RadioMaster TX12 MK2 ELRS» – 10 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI MR1SD25» – 10 шт.
- Пульт дистанционного управления «FLYSKY SM001» - 2 шт.
- Пульт дистанционного управления «BETA FPV» - 13 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI RC-N1 от DJI MAVIC MINI 2» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 2 от DJI AVATA» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 3 от DJI NEO» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI RC1B от DJI MAVIC 2 PRO» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI GL300L от DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL» - 1 шт.
- VR FPV шлем «LS008D 5,8G» – 5 шт.
- VR FPV шлем «DMKR 008D PRO 5,8G» – 5 шт.
- Очки VR FPV DJI Googles N3 - 1 шт.
- Очки VR FPV DJI Googles 2 - 1 шт.
- Шлем VR BETA FPV - 10 шт.
- Видеоадаптер HDMI to AV, HDMI кабель (для подключения очков к симулятору) – 10 шт.
- Квадрокоптер DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт
- Квадрокоптер DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- БПЛА смешанного типа «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- БПЛА смешанного типа «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- БПЛА самолетного типа «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- БПЛА самолетного типа «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления Happy Model Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.
- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.
- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 3 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»
2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»
3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»
4. FPV камера «Caddx Ratel 2»
5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»
6. Складной пропеллер «DALPROP 7inch»

7. Комплект электромоторов (4шт.) «iFlight XING 2806.5 1800KV»

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 2 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»;
2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»;
3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»;
4. FPV камера «Caddx Ratel 2»;
5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»;
6. Комплект Складных пропеллеров (4шт.) «DALPROP 7inch»;
7. Комплект электромоторов (4шт.) «Brotherhobby 2806.5 1920KV»

- Комплект средств и инструментов для технического обслуживания БАС - (10 шт.):

1. Термостойкий коврик для пайки и ремонта электроники
2. Паяльный набор инструментов (паяльник, набор наконечников, губка для чистки жала, проволока для пайки, пинцет, нож для снятия изоляции, припой, экстрактор припоя, подставка под паяльник, гель флюс, мультиметр, средство сухой очистки жала, средство влажной очистки жала, кусачки)
3. Набор инструментов для ремонта электроники (набор лопаток 8 шт., нож, набор магнитных отверток 8 шт., пинцет, присоска, медиатор 5 шт.)
4. Лампа настольная
5. Вентилятор настольный
6. Очки защитные

-Комплект запасных частей для - DJI PHANTOM

4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт

-Комплект запасных частей для DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.

-Комплект запасных частей для управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Комплект запасных частей для самосборного FPV 7-дюймового квадрокоптера – 5 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Программное обеспечение для обработки полётной информации):

1. DJI FLY на 20 рабочих мест
2. DJI GO4 на 20 рабочих мест
3. DJI PILOT на 20 рабочих мест
4. DJI GS PRO на 20 рабочих мест
5. DJI TERRA на 20 рабочих мест
6. DJI LIGHTCUT

на 20 рабочих мест

- IMAGE COMPOSITE EDITOR на 20 рабочих мест
- WEB OPEN DRONE MAP на 20 рабочих мест
- ARDUPILOT MISSION PLANNER на 20 рабочих мест
- PIX4D CAPTURE на 20 рабочих мест
- PIX4DMATIC на 20 рабочих мест
- INAV на 20 рабочих мест
- BETAFLIGHT на 20 рабочих мест
- АВИАТОР+ на 20 рабочих мест
- СППИ на 20 рабочих мест
- НЕБОСВОД на 20 рабочих мест
- Набор круглых подвесных колец (ворот) (50см) «LDARC» для тренировок и соревнований на FPV квадрокоптерах - 10 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiPo 380 Mah - 30 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 850 Mah - 5 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 650 Mah - 2 шт.
- Аккумулятор Lipo 6S 6500Mah 60C XT60 «Youme» - 5 шт.
- Аккумулятор BETA FPV 1S LiPo 450 Mah - 12 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiHv 660 Mah - 10 шт.
- Зарядное устройство (67W, Type C - 2 выхода, USB-A- 2 выхода) - 10 шт.
- Зарядное устройство для 1S LiPo «ViFLY WHOOPSTAR v3» - 5 шт.
- Зарядное устройство для 2S-6S литиевых аккумуляторов «HTRC C240» - 1 шт.
- Полезная нагрузка (система сброса) для DJI MAVIC 2 PRO -1 шт.
- Смартфон SAMSUNG GALAXY A7 - 1 шт.
- Планшет IPAD MINI 7 - 1 шт.
- Монитор FPV MONITOR 5.8G - 1 шт.
- Взлётно-посадочная площадка – 2шт.

8.2. Помещение для самостоятельной работы обучающихся (помещение общего пользования с подключением к системам телекоммуникации и с обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (доступ в сеть Интернет, Wi-Fi, глобальные поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Специализированная мебель и технические средства обучения:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютеры для преподавателя с выходом в интернет
- Компьютеры для обучающихся выходом в интернет
- ПО: MS Office, Яндекс браузер
- Цифровой образовательный ресурс IPR SMART
- доступ в ЭИОС.

Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины «**Двигатели воздушных судов**» можно построить в соответствии со списком вопросов для подготовки к экзамену. Для эффективного изучения курса Безопасности жизнедеятельности рекомендуется следующий порядок:

Сначала изучаются теоретические вопросы по соответствующей теме с проработкой как конспектов лекций, так и учебников. *Лекции* дают систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, концентрируют внимание на наиболее сложных узловых вопросах. Особое внимание следует обратить на *понимание смысла* основных понятий, определений. Затем

нужно самостоятельно **подробно разобрать типовые примеры**, выясняя в деталях **практическое значение выученного теоретического материала**.

Добросовестное изучение всего материала, заключённого в лекциях, практических занятиях и домашних заданиях, гарантирует каждому обучающемуся успешные результаты на экзаменах. Для подготовки к экзамену необходимо, прежде всего, по лекциям и учебникам повторить и систематизировать весь теоретический материал, изученный в семестре.

При ответе на теоретические вопросы на экзамене следует привести необходимые определения, формулировку и примеры. Решение задач (если они есть в билете) следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения.

Во время экзамена требуется иметь калькулятор для выполнения расчетных заданий.

Не забудьте обратить внимание на применение рассматриваемых вопросов и задач в будущей профессиональной деятельности. Понимание необходимости и возможности такого применения оценивается на экзамене очень высоко.

Учебно-методическое издание

Рабочая программа учебной дисциплины

Двигатели воздушных судов

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Беликова Екатерина Владимировна

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)