Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 18.09.2025 14:05:25
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
/М.Р. Рыбакова/
«27» февраля 2025 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Проектирование и эксплуатация малоразмерных турбомашин

Направление подготовки/ специальность
13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль/ специализация
Проектирование и эксплуатация двигателей для инновационного транспорта

Квалификация
Магистр

Форма обучения
Очная

Москва, 2025

Разработчик(и):

к.т.н., проф. /А.И. Федулов/

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики», д.т.н. /Г.Г. Надарейшвили/

Оглавление

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 6
3. Структура и содержание дисциплины....6
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость.... 6
3.2. Тематический план изучения дисциплины.... 7
3.3. Содержание дисциплины.... 7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий.... 9
3.4.1. Семинарские/практические занятия 9
3.4.2. Лабораторные занятия.... 10
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 10
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 10
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 10
4.2. Основная литература.... 11
4.3. Дополнительная литература.... 12
4.4. Электронные образовательные ресурсы 12
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 12
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.... 12
5. Материально-техническое обеспечение....13
6. Методические рекомендации 14
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения.... 14
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 15
7. Фонд оценочных средств....15
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 16
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения.... 17
7.3. Оценочные средства.... 17

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью дисциплины является формирование у студентов глубоких теоретических знаний и практических навыков, необходимых для проектирования, анализа и расчёта лопаточных машин (компрессоров и турбин) микротурбинных двигателей, применяемых в транспортной и энергетической сферах. Данная дисциплина ориентирована на подготовку будущих инженеров, способных эффективно решать задачи, связанные с разработкой, оптимизацией и эксплуатацией микротурбинных установок.

Задачи дисциплины:

Теоретические знания:

Изучение конструкции, принципа работы и особенностей эксплуатации лопаточных машин микротурбинных двигателей.

Понимание физики процессов, происходящих в лопаточных машинах (гидродинамика, термодинамика, газодинамика).

Освоение методов анализа и расчёта рабочих процессов в ступенях компрессоров и турбин.

Проектирование и расчёт:

Овладение методами расчёта параметров лопаточных машин (термо-, газо- и гидродинамический расчёт).

Развитие навыков проектирования эффективных профилей лопаток и ступеней компрессоров и турбин.

Владение методами оценки эффективности и надёжности лопаточных машин.

Понимание технических ограничений:

Знание основных факторов, ограничивающих эффективность и ресурс лопаточных машин (нестабильные режимы, помпаж, износ, термоусталость).

Понимание влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на рабочие характеристики.

Современная практика проектирования:

Освоение современных методов проектирования лопаточных машин, включая использование автоматизированных систем (CAD, CAM, CAE).

Ознакомление с новыми материалами и покрытиями, применяемыми в лопаточных машинах.

Подготовка к профессиональной деятельности:

Формирование профессиональных компетенций, позволяющих успешно решать задачи проектирования, расчёта и эксплуатации лопаточных машин в отрасли энергомашиностроения.

Приобретение навыков самостоятельного выполнения расчётов и анализа результатов, необходимых для работы в инжиниринговых фирмах и научно-исследовательских организациях.

Студенты, освоившие дисциплину «Теория и расчет лопаточных машин микротурбин транспортного и энергетического назначения», должны обладать следующими знаниями, умениями и навыками:

Знания:

Теория и принцип работы лопаточных машин:

Понятие лопаточной машины и её назначение в газотурбинных двигателях (ГТД).

Основные допущения, применяемые при изучении рабочего процесса в лопаточных машинах.

Одномерные, двумерные и трёхмерные модели течения в лопаточной машине.

Термодинамические процессы в h-S и P-V диаграммах.

Рабочий процесс в лопаточных машинах:

Принцип действия и схема ступени осевого компрессора и газовой турбины.

Основные параметры ступени и их влияние на эффективность и КПД.

Типы ступеней в зависимости от степени реактивности.
Применение теоремы Жуковского в лопаточных машинах.
Профилирование лопаток и конструкции ступеней:
Геометрические параметры профилей и решёток лопаток.
Влияние числа Маха и углов атаки на характеристики решёток.
Методы профилирования лопаток для повышения эффективности.
Особенности ступеней различного класса (низкого, среднего и высокого давления).
Многоступенчатые компрессоры и турбины:
Основные параметры многоступенчатых осевых компрессоров и турбин.
Распределение работы сжатия и теплоперепадов между ступенями.
Этапы газодинамического расчёта и проектирования многоступенчатых компрессоров и турбин.
Неустойчивые режимы работы и помпаж:
Понятие помпажа и его причины.
Признаки наступления помпажа и методы его предотвращения.
Регулирование компрессоров при больших изменениях расхода.
Оптимизация и современные тенденции:
Методы оптимизации аэродинамических характеристик лопаток.
Современные подходы к оптимизации лопаточных машин.
Новые материалы и покрытия, перспективные технологии в области микротурбин.
Расчёт и тепловая нагрузка:
Основные уравнения теплового расчёта ступени осевого компрессора.
Оценка температурных полей и напряжений в лопатках.
Влияние межступенчатого охлаждения на эффективность компрессора.
Практическое применение:
Понимание принципов работы вентиляторных ступеней ТРДД.
Знание конструкции и особенностей охлаждаемых лопаток газовых турбин.

Умения:
Проектирование и расчёт лопаточных машин:
Уметь проектировать ступени осевых компрессоров и турбин.
Проводить газодинамический расчёт компрессоров и турбин.
Выполнять тепловой расчёт ступени осевого компрессора.
Анализ рабочих процессов:
Анализировать рабочий процесс в ступени осевого компрессора и газовой турбины.
Оценивать эффективность и КПД лопаточных машин.
Рассчитывать потери энергии и тепловые потери в лопаточных машинах.
Оптимизировать конструкции и параметры:
Применять методы оптимизации профилей лопаток и решёток.
Выбирать оптимальные схемы межступенчатого охлаждения.
Подбирать рациональные конструкции ступеней компрессоров и турбин.
Оценивать неустойчивые режимы и помпаж:
Определять признаки наступления помпажа и мер по его предупреждению.
Осуществлять расчёт и анализ нестабильных режимов работы компрессоров.
Использование современных технологий:
Применять автоматизированные методы проектирования и расчёта лопаточных машин.
Следить за новыми тенденциями и перспективными технологиями в области микротурбин.

Навыки:
Работа с теоретическими и практическими методами:
Навыки расчёта и анализа характеристик лопаточных машин.

Опыт работы с различными моделями течения (одно-, дву- и трёхмерными).
Решение практических задач:
Способность выполнять проекты и расчёты лопаточных машин, применяя известные методы и программы.
Умение выбирать оптимальные конструкции и параметры ступеней компрессоров и турбин.
Консультация и экспертиза:
Разбираться в проблемах и путях повышения эффективности и надёжности лопаточных машин.
Предоставлять консультации и рекомендации по проектированию и эксплуатации лопаточных машин.

Обучение по дисциплине направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1. Способен к компьютерному моделированию, визуализации, презентации модели созданной установки для нужд природоохраны	ИПК-1.1. Применяет знание программных комплексов для выполнения компьютерного моделирования, создания отчетов и презентаций при создании энергоустановок; ИПК-1.2. Умение разрабатывать компьютерные модели проектируемых установок ИПК-1.3. Владеет навыками компьютерного 3D моделирования, навыками работы в программах для визуализации и анимации работы спроектированных установок

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в часть блока Б.1, формируемую участниками образовательных отношений, подраздел Б1.2.6.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые при изучении таких дисциплин, как Термодинамика для энергетических машин, Физика, Линейная алгебра, Математический анализ, Инженерная механика в энергетическом машиностроении, Сопротивление материалов.

Знания, умения, навыки, сформированные данной дисциплиной, будут востребованы при изучении таких дисциплин как: Виброакустика на транспорте и в энергетике, Проектирование тепловых двигателей для транспорта и малой энергетики, а также при прохождении практики, подготовке к процедуре защиты и защите выпускной квалификационной работы.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 часа).

3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			2
1	Аудиторные занятия	36	36
	В том числе:	–	–

	Лекции	18	18
	Семинарские/практические занятия	18	18
	Лабораторные занятия	–	–
2	Самостоятельная работа	108	108
3	Промежуточная аттестация	–	–
	Зачет/диф.зачет/экзамен	Экзамен	Экзамен
	Итого	144	144

3.2. Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Всего	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Тема 1. Введение в теорию лопаточных машин	16	4	2	2	–	12
2	Тема 2. Рабочий процесс в ступени осевого компрессора	16	4	2	2	–	12
3	Тема 3. Профилирование лопаток компрессора	16	4	2	2	–	12
4	Тема 4. Многоступенчатые осевые компрессоры	16	4	2	2	–	12
5	Тема 5. Рабочий процесс в ступени газовой турбины	16	4	2	2	–	12
6	Тема 6. Многоступенчатые турбины	16	4	2	2	–	12
7	Тема 7. Характеристики осевых лопаточных машин	16	4	2	2	–	12
8	Тема 8. Помпаж и неустойчивые режимы работы компрессора	16	4	2	2	–	12
9	Тема 9. Регулирование многоступенчатых компрессоров	16	4	2	2	–	12
	Итого:	144	36	18	18	–	108

3.3. Содержание дисциплины

Лекция 1. Введение в теорию лопаточных машин
Понятие лопаточной машины и её назначение в ГТД.
Основные допущения, применяемые при изучении рабочего процесса в лопаточных машинах.
Одномерная, двумерная и трёхмерная модели течения в лопаточной машине.
Уравнение неразрывности и энергии для лопаточных машин.
Термодинамические процессы в h-S и P-V диаграммах.

Лекция 2. Рабочий процесс в ступени осевого компрессора
Схема и принцип действия ступени осевого компрессора.
Изменение статических и полных параметров потока в ступени.
Основные параметры ступени и их влияние на эффективность.
Типы ступеней в зависимости от степени реактивности.
Теорема Жуковского и её применение в лопаточных машинах.

Лекция 3. Профилирование лопаток компрессора
Основные геометрические параметры профилей и решёток.
Влияние числа Маха и углов атаки на характеристики решёток.
Влияние радиальных и осевых зазоров на работу ступени.
Методы профилирования лопаток для повышения эффективности.

Лекция 4. Многоступенчатые осевые компрессоры
Основные параметры многоступенчатого осевого компрессора.
Распределение работы сжатия между ступенями.
Этапы газодинамического расчёта многоступенчатого компрессора.
Влияние неравномерности потока на работу компрессора.

Лекция 5. Рабочий процесс в ступени газовой турбины
Схема и принцип действия ступени газовой турбины.
Изменение параметров потока в сопловом аппарате и рабочем колесе.
Основные параметры ступени и их влияние на КПД.
Классификация потерь энергии в ступени турбины.
Особенности построения профилей лопаток турбинной решётки.

Лекция 6. Многоступенчатые турбины
Физические основы применения многоступенчатых турбин.
Особенности распределения работы и теплоперепадов по ступеням.
Этапы газодинамического проектирования многоступенчатой турбины.
Предварительный этап расчёта турбины.

Лекция 7. Характеристики осевых лопаточных машин
Методы определения характеристик компрессора и турбины.
Обтекание лопаток на нерасчётных режимах.
Основные закономерности протекания характеристик ступени.
Влияние атмосферных условий и условий полёта на работу компрессора.
Срывные и неустойчивые режимы работы компрессора.

Лекция 8. Помпаж и неустойчивые режимы работы компрессора
Понятие помпажа и его причины.
Признаки наступления помпажа и методы его предупреждения.
Устойчивость работы компрессора в системе двигателя.
Работа компрессора по дроссельным характеристикам.
Способы регулирования многоступенчатых компрессоров.

Лекция 9. Регулирование многоступенчатых компрессоров
Основные способы регулирования компрессоров.
Регулирование числа ступеней и раскрытие боковых окон.
Регулирование поворотом лопаток.
Режимы работы компрессора при больших изменениях расхода.
Регулирование на основе характеристики газовой турбины.

В связи с проведением лекций в дистанционном формате и с целью повышения эффективности усвоения учебного материала, студенты должны вести рукописный конспект лекций во время всех дистанционных лекций.
Конспект должен быть оформлен в соответствии с требованиями кафедры, включая:

- Дату проведения лекции.

- Тему лекции.
- Основные тезисы и определения.
- Схемы, графики, формулы и другие визуальные материалы, представленные на лекции.
- Личные комментарии и вопросы, возникшие в ходе лекции.

Конспект должен быть аккуратным, понятным и легко читаемым.
Наличие рукописного конспекта лекций является обязательным условием для допуска к промежуточной аттестации.
Студенты, не предоставившие конспекты лекций, не будут допущены к промежуточной аттестации.
В течение семестра профессорско-преподавательский состав должен не менее двух раз (в период текущего контроля успеваемости) проводить проверку конспектов лекций.
Итоговые конспекты лекций должны быть предоставлены на проверку не позднее, чем за неделю до начала зачётно-экзаменационной сессии.

3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Практические занятия
Практическое занятие №1. Введение в теорию лопаточных машин
Цель: Ознакомление с основными понятиями и назначением лопаточных машин.
Задания:
Определение и классификация лопаточных машин.
Основные допущения при изучении рабочего процесса в лопаточных машинах.
Изучение термодинамических процессов в h-S и P-V диаграммах.

Практическое занятие №2. Рабочий процесс в ступени осевого компрессора
Цель: Изучение процессов, происходящих в ступени осевого компрессора.
Задания:
Построение схемы и анализ принципа действия ступени осевого компрессора.
Расчёт изменения статических и полных параметров потока в ступени.
Определение основных параметров ступени и их влияние на эффективность.

Практическое занятие №3. Профилирование лопаток компрессора
Цель: Изучение методов профилирования лопаток и их влияния на эффективность.
Задания:
Определение основных геометрических параметров профилей и решёток.
Анализ влияния числа Маха и углов атаки на характеристики решёток.
Методы профилирования лопаток для повышения эффективности.

Практическое занятие №4. Многоступенчатые осевые компрессоры
Цель: Изучение работы и расчёта многоступенчатых осевых компрессоров.
Задания:
Определение основных параметров многоступенчатого осевого компрессора.
Оценка распределения работы сжатия между ступенями.
Этапы газодинамического расчёта многоступенчатого компрессора.

Практическое занятие №5. Рабочий процесс в ступени газовой турбины
Цель: Изучение процессов, происходящих в ступени газовой турбины.
Задания:
Построение схемы и анализ принципа действия ступени газовой турбины.
Расчёт изменения параметров потока в сопловом аппарате и рабочем колесе.
Определение основных параметров ступени и их влияние на КПД.

Практическое занятие №6. Многоступенчатые турбины
Цель: Изучение работы и расчёта многоступенчатых турбин.
Задания:
Физические основы применения многоступенчатых турбин.
Оценка распределения работы и теплоперепадов по ступеням.
Этапы газодинамического проектирования многоступенчатой турбины.

Практическое занятие №7. Характеристики осевых лопаточных машин
Цель: Изучение характеристик осевых лопаточных машин.
Задания:
Методы определения характеристик компрессора и турбины.
Анализ обтекания лопаток на нерасчётных режимах.
Основные закономерности протекания характеристик ступени.

Практическое занятие №8. Помпаж и неустойчивые режимы работы компрессора
Цель: Изучение причин и методов предотвращения помпажа и неустойчивых режимов.
Задания:
Определение понятия помпажа и его причин.
Признаки наступления помпажа и методы его предупреждения.
Устойчивость работы компрессора в системе двигателя.

Практическое занятие №9. Регулирование многоступенчатых компрессоров
Цель: Изучение методов регулирования многоступенчатых компрессоров.
Задания:
Основные способы регулирования компрессоров.
Регулирование числа ступеней и раскрытие боковых окон.
Регулирование поворотом лопаток.

3.4.2. Лабораторные занятия

Лабораторные работы по дисциплине не предусмотрены.

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 25.101-83
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на усталостную прочность»
Используется для оценки долговечности и усталостной прочности деталей ГТД, а также для правильного выбора материалов и расчётных параметров.

2. ГОСТ 25.504-82
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта на прочность лопаток паровых и газовых турбин»
Важен для расчёта прочности лопаток газотурбинных двигателей, поскольку именно эта часть испытывает наибольшее воздействие термических и механических нагрузок.

3. ГОСТ 25.502-80
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на ползучесть и длительную прочность»

Необходимо для изучения и учёта эффектов ползучести, длительного нагружения и установления долговременной прочности материалов ГТД.

4. ГОСТ 25.503-97
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на статическую прочность»
Помогает освоить правильные методы испытаний на статическую прочность деталей и узлов ГТД, что крайне важно для безопасной эксплуатации.

5. ГОСТ 25.505-80
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на релаксацию напряжений»
Рекомендуется для глубокого понимания процесса релаксации напряжений, возникающего в деталях ГТД при длительном воздействии нагрузок.

6. ГОСТ 25.506-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на вибропрочность»
Обязателен для студентов, изучающих динамику и вибростойкость элементов газотурбинных двигателей, таких как лопатки и диски.

7. ГОСТ 25.507-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытания на многократную изгибающую усталость»
Особенно важен для расчёта элементов, подверженных циклическим нагрузкам, таким как лопатки компрессора и турбины.

8. ГОСТ 25.508-94
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на усталостную прочность при пульсирующем растяжении»
Будет полезен при изучении вопроса долговечности элементов ГТД, испытывающих пульсирующее растягивающее усилие.

9. ГОСТ 25.509-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на выносливость при повторно-статическом нагружении»
Является полезным документом для изучения вопросов, связанных с усталостью и пределом выносливости элементов газотурбинных двигателей.

10. ГОСТ 25.501-97
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на растяжение»
Используется для изучения методов расчёта и проведения испытаний на растяжение материалов, применяемых в производстве деталей ГТД.

4.2. Основная литература

1. Математические модели потоков в лопаточных машинах двигателей и агрегатов летательных аппаратов : учебное пособие / А. Б. Прокофьев, В. Н. Матвеев, О. В. Батурин [и др.]. — Самара : Самарский университет, 2021. — 200 с. — ISBN 978-5-7883-1659-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/256937
2. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели/ В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов [и др.] ; под редакцией В. А. Григорьева, А. И. Ланшина. — Самара : Самарский университет, 2021. — 436 с. — ISBN 978-5-7883-1587-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/257072

3. Конструирование двигателей внутреннего сгорания : учебник / под редакцией Н. Д. Чайнова. — 3-е изд. — Москва : Машиностроение, 2023. — 496 с. — ISBN 978-5-907523-24-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/307301

4.3. Дополнительная литература

1. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели : учебное пособие / В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов [и др.] ; под редакцией В. А. Григорьева, А. И. Ланшина. — 2-е изд., доп. — Самара : Самарский университет, 2022. — 452 с. — ISBN 978-5-7883-1715-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/336593
2. Батурин, О. В. Основные сведения о турбомашинах и их применении в современной технике : учебное пособие / О. В. Батурин, В. Н. Матвеев, Г. М. Попов. — Самара : Самарский университет, 2020. — 108 с. — ISBN 978-5-7883-1578-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/188956
3. Надежность авиационной техники : методические указания / составитель И. В. Любимов. — Санкт-Петербург : СПБГУ ГА им. А.А. Новикова, 2022. — 21 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/297245

4.4. Электронные образовательные ресурсы

Теория и расчет лопаточных машин
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=9380

4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для проведения занятий по дисциплине необходимо следующее ПО:
Операционная система Windows 7 и выше, Офисные приложения Microsoft Office.

4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для освоения дисциплины рекомендуются следующие сайты информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:
http://минобрнауки.рф/ - Министерство образования и науки РФ;
http://fcior.edu.ru/ - Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов;
http://fgosvo.ru/ - Портал Федеральных государственных образовательных стандартов;
http://www.consultant.ru/ - Справочная правовая система «Консультант Плюс»;
http://www.garant.ru/ - Справочная правовая система «Гарант»;
http://www.edu.ru/ - Российское образование. Федеральный портал;
http://www.opengost.ru/ - Сайт, содержащий полные тексты нормативных документов.
Перечень информационных систем:
Научная библиотека Московского политехнического университета. http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog
База данных содержит в себе 102678 учебных материалов различной направленности 1939 из которых полнотекстовые. Доступ к электронному каталогу можно получить с любого устройства, имеющим подключение к интернету.
Электронный каталог БИЦ МГУП.
http://mgup.ru/library/
Электронный каталог позволяет производить поиск по базе данных библиотеки МГУП.
ЭБС издательства «ЛАНЬ».
https://e.lanbook.com/

ЭБС «ЛАНЬ» - ресурс, предоставляющий online-доступ к научным журналам и полнотекстовым коллекциям книг различных издательств.
Доступ к ЭБС издательства «ЛАНЬ» осуществляется со всех компьютеров университета.
ЭБС «Polpred».
http://polpred.com/news
ЭБС представляет собой архив важных публикаций, собираемых вручную. База данных с рубрикатором: 53 отрасли/ 600 источников/ 9 федеральных округов РФ/ 235 стран и территорий/ главные материалы/ статьи и интервью 8000 первых лиц. Для доступа к полным текстам ЭБС с компьютеров на территории учебных корпусов университета авторизация не требуется.
«КиберЛенинка» - научная библиотека открытого доступа.
http://cyberleninka.ru/
Это научная электронная библиотека открытого доступа (Open Access).
Библиотека комплектуется научными статьями, публикациями в журналах России и ближнего зарубежья. Научные тексты, представленные в библиотеке, размещаются в интернете бесплатно, в открытом доступе. Пользователям библиотеки предоставляется возможность читать научные работы с экрана планшета, мобильного телефона и других современных мобильных устройств.
Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU».
http://elibrary.ru/defaultx.asp
Крупнейшая в России электронная библиотека научных публикаций, обладающая богатыми возможностями поиска и анализа научной информации. Библиотека интегрирована с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) - созданным по заказу Минобрнауки РФ бесплатным общедоступным инструментом измерения публикационной активности ученых и организаций.
Реферативная и наукометрическая электронная база данных «Scopus».
https://www.scopus.com/home.uri
Индексирует не менее 20500 реферируемых научных журналов, которые издаются не менее чем 5000 издательствами и содержат не менее 47 млн. библиографических записей, из которых не менее 24 млн. включают в себя списки цитируемой литературы.
База данных «Knovel» издательства «Elsevir».
https://app.knovel.com/web/
Полнотекстовая база данных для поиска инженерной информации и поддержки принятия инженерных решений.
Доступ к электронным базам данных «Scopus» и «Knovel» осуществляется круглосуточно через сеть Интернет в режиме он-лайн по IP-адресам, используемым университетом для выхода в сеть Интернет.
Поисковые интернет-системы: Google, Yandex, Yahoo, Mail, Rambler, Bing и др.
Информационная система предоставляет свободный доступ к каталогу образовательных Интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно- методической библиотеке для общего и профессионального образования. Доступ с любого компьютера, подключенного к Интернет.

5. Материально-техническое обеспечение

1) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

2) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

3) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

4) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

5) Комплекты мебели для учебного процесса.

6) Мультимедийное оборудование: Экран для проектора, переносной ноутбук, переносной проектор.

6. Методические рекомендации

6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- четко представлять себе, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- познакомится с видами учебной работы;
- изучить содержание разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность исодержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины осуществляется при контактной работе с преподавателем и в процессе самостоятельной работы. Эффективное освоение дисциплины предполагает регулярное посещение всех видов аудиторных занятий, выполнение плана самостоятельной работы в полном объеме и прохождение аттестации в соответствии с календарным учебным графиком.

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке издания в твёрдой копии (необходимо иметь при себе читательский билет и уметь пользоваться электронным каталогом).

Доступ к информационным ресурсам библиотеки и информационно-справочным системам сети «Интернет» организован в читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного ПЭВМ (ноутбука, планшетного компьютера или иного мобильного устройства) посредством беспроводного доступа при активации индивидуальной учетной записи.

Пользование информационными ресурсами расширяет возможности освоения теоретического курса, выполнения самостоятельной работы и позволяет получить информацию для реализации творческих образовательных технологий: выполнения реферата на заданную или самостоятельно выбранную тему в рамках тематики дисциплины.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и с материалами, полученными на лекционных занятиях. Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать, перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем-консультантом и студентами, направленное на разрешение проблем и внесение позитивных изменений в деятельность студентов.

7. Фонд оценочных средств

Для осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов предусмотрен фонд оценочных средств (ФОС), позволяющий оценить достижение запланированных результатов обучения и уровень сформированности всех компетенций. Фонд оценочных средств состоит из комплектов контрольно-оценочных средств. Комплекты контрольно-оценочных средств включают в себя контрольно-оценочные материалы, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций.

7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения

Оценивание и контроль сформированности компетенций осуществляется с помощью текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации. Для этого семестр делится на три периода. По окончанию первого периода (контрольная точка 1 (КТ1)) проводится собеседование со студентами по изученному на данный момент материалу. По окончанию второго периода обучения (КТ2) проводится аналогичная процедура. Третий период заканчивается промежуточной аттестацией по всему пройдённому материалу.

Текущий контроль успеваемости студентов предназначен для повышения мотивации студентов к систематическим занятиям, оценивания степени усвоения студентами учебного материала. Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение периода теоретического обучения семестра по всем видам аудиторных занятий и самостоятельной работы студента.

Текущий контроль успеваемости в процессе изучения дисциплины может проводиться по усмотрению преподавателя в форме устного собеседования или посредством прохождения тестов, размещённых в соответствующем онлайн-курсе системы дистанционного обучения Московского Политеха.

Если текущий контроль проходит в формате тестирования, то для теста характерны следующие особенности:

Объем теста- 20 тестовых заданий.

Тест имеет ограничение по времени – 25 мин. По истечении времени, вносить изменения в тест будет невозможно.

По окончанию всего теста выдается информация о том, зачтен тест или нет.

При оценке текущей успеваемости с использованием устного собеседования рекомендуются следующие критерии:

1. Знание теории (40%)

Понимание основных понятий, терминологии и закономерностей дисциплины

Способность воспроизводить и объяснять ключевые положения

2. Практические навыки (35%)

Умение применять теоретические знания для решения типовых задач

Анализ и интерпретация результатов

3. Аргументация и качество ответов (15%)

Логичность, полнота и ясность изложения

Обоснование своих решений и выводов

4. Активность и самостоятельность (10%)

Участие в обсуждениях, выполнение дополнительных заданий

Проявление инициативы в обучении

Шкала оценивания (в процентах и по пятибалльной системе)

Процент выполнения	Оценка (5-балльная)	Характеристика результата
90–100%	5 (отлично)	Отличное знание материала, высокая активность
75–89%	4 (хорошо)	Хорошее усвоение материала, незначительные недочеты
60–74%	3 (удовлетворительно)	Базовое понимание, требуется доработка

Процент выполнения	Оценка (5-балльная)	Характеристика результата
		отдельных вопросов
Ниже 60%	2 (неудовлетворительно)	Недостаточный уровень знаний и навыков

Для допуска к промежуточной аттестации студент должен иметь оценку не ниже «удовлетворительно» (3) по результатам текущего контроля.

В случае неудовлетворительной оценки студенту рекомендуется дополнительная подготовка и повторное прохождение контроля до установленного срока.

Результаты текущего контроля успеваемости учитываются преподавателем при проведении промежуточной аттестации. Отставание студента от графика текущего контроля успеваемости по изучаемой дисциплине приводит к образованию текущей задолженности.

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра. Промежуточная аттестация помогает оценить более крупные совокупности знаний и умений, формирование определенных профессиональных компетенций.

7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Форма аттестации: Экзамен

Система оценивания: При проведении промежуточной аттестации по дисциплине используется пятибалльная шкала оценки уровня сформированности компетенций студента:

Оценка	Баллы	Описание уровня освоения дисциплины
Отлично (5)	90-100	Знания и умения освоены в полном объёме, демонстрируются глубокое понимание и умение применять материал в различных ситуациях. Ошибки отсутствуют или единичны и незначительны.
Хорошо (4)	75-89	Знания и умения освоены в достаточном объёме, допускаются незначительные ошибки, студент способен решать типовые задачи и применять теоретические знания на практике.
Удовлетворительно (3)	60-74	Знания и умения освоены частично, имеются существенные пробелы, студент способен выполнять базовые задачи, но допускает ошибки при решении сложных вопросов.
Неудовлетворительно (2)	ниже 60	Знания и умения не освоены, студент не справился с основными требованиями экзамена, допускает систематические ошибки, отсутствует понимание ключевых понятий.

Критерии оценивания экзаменационных ответов

Критерий	Отлично (5)	Хорошо (4)	Удовлетворительно (3)	Неудовлетворительно (2)
Глубина знаний	Полное и глубокое раскрытие темы, демонстрация понимания всех аспектов	Хорошее знание темы с незначительными пробелами	Поверхностное знание, основные понятия усвоены	Недостаточное знание, отсутствует понимание основных понятий
Аргументаци	Логичная,	Аргументация	Аргументация	Отсутствие

Критерий	Отлично (5)	Хорошо (4)	Удовлетворительно (3)	Неудовлетворительно (2)
я и обоснование	последовательная аргументация, примеры и доказательства	присутствует, но не всегда последовательна	слабая, недостаточно обоснована	аргументации, необоснованные суждения
Применение знаний	Умение применять знания в новых и нестандартных ситуациях	Применение знаний в типовых задачах	Применение знаний ограничено простыми примерами	Неумение применять знания на практике
Структура и оформление ответа	Ответ структурирован, логичен, грамотно оформлен	Ответ в целом структурирован, мелкие ошибки в оформлении	Ответ слабо структурирован, ошибки в оформлении	Ответ неструктурирован, множество ошибок

7.3. Оценочные средства

Лекция 1. Введение в теорию лопаточных машин
Что такое лопаточная машина и какую роль она выполняет в газотурбинных двигателях?
Какие основные допущения принимаются при изучении рабочего процесса в лопаточных машинах?
Чем отличаются одномерная, двумерная и трёхмерная модели течения в лопаточной машине?
Запишите уравнение неразрывности и энергии применительно к лопаточным машинам.
Какие термодинамические процессы изображаются в h-S и P-V диаграммах?

Лекция 2. Рабочий процесс в ступени осевого компрессора
Нарисуйте схему и опишите принцип действия ступени осевого компрессора.
Как изменяются статические и полные параметры потока в ступени осевого компрессора?
Какие основные параметры ступени осевого компрессора и как они влияют на эффективность?
В чём заключается теорема Жуковского и как она применяется в лопаточных машинах?
Какие существуют типы ступеней осевого компрессора в зависимости от степени реактивности?

Лекция 3. Профилирование лопаток компрессора
Какие основные геометрические параметры профилей и решёток лопаток осевого компрессора?
Как влияют углы атаки и число Маха на характеристики решёток лопаток?
Как влияют радиальные и осевые зазоры на работу ступени компрессора?
Какие методы профилирования лопаток используются для повышения эффективности компрессора?

Лекция 4. Многоступенчатые осевые компрессоры
Какие основные параметры многоступенчатого осевого компрессора?
Как распределяется работа сжатия между ступенями в многоступенчатом компрессоре?
Какие этапы проходят при газодинамическом расчёте многоступенчатого осевого компрессора?
Как влияет неравномерность потока на работу многоступенчатого осевого компрессора?

Лекция 5. Рабочий процесс в ступени газовой турбины

Нарисуйте схему и опишите принцип действия ступени газовой турбины.
Как изменяются параметры потока в сопловом аппарате и рабочем колесе ступени турбины?
Какие основные параметры ступени газовой турбины и как они влияют на КПД?
Какие потери энергии присутствуют в ступени турбины и как они классифицируются?
Как строятся профили лопаток турбинной решётки и какие особенности необходимо учитывать?

Лекция 6. Многоступенчатые турбины
В чём заключаются физические основы применения многоступенчатых турбин?
Как распределяется работа и теплоперепады по ступеням в многоступенчатой турбине?
Какие этапы проходит газодинамическое проектирование многоступенчатой турбины?
Что включает в себя предварительный этап расчёта турбины?

Лекция 7. Характеристики осевых лопаточных машин
Какие методы используются для определения характеристик осевых компрессоров и турбин?
Как изменяется картина обтекания лопаток на нерасчётных режимах работы?
Какие основные закономерности наблюдают при протекании характеристик отдельной ступени?
Как атмосферные условия и условия полёта влияют на работу компрессора?
Что такое срывные и неустойчивые режимы работы компрессора, и как они возникают?

Лекция 8. Помпаж и неустойчивые режимы работы компрессора
Что такое помпаж, и какие причины его вызывают?
Какие признаки свидетельствуют о наступлении помпажа, и как предупредить его возникновение?
Каким образом поддерживать устойчивость работы компрессора в системе двигателя?
Что такое дроссельные характеристики компрессора, и как они влияют на его работу?
Какие существуют способы регулирования многоступенчатых компрессоров?

Лекция 9. Регулирование многоступенчатых компрессоров
Какие основные способы регулирования компрессоров применяются в современной практике?
В чём заключается регулирование компрессора путём изменения числа ступеней или раскрытия боковых окон?
Как реализуется регулирование поворотом лопаток компрессора?
Как ведет себя компрессор при значительных изменениях расхода воздуха?
В чём особенности регулирования компрессора на основе характеристики газовой турбины?

Лекция 10. Вентиляторные ступени ТРДД
В чём заключаются особенности течения в вентиляторных ступенях турбореактивных двигателей с двойной ступенью (ТРДД)?
Как выполняется термодинамический расчёт вентиляторной ступени с неравномерным напором?
Что представляет собой кинематический расчёт вентиляторной ступени с неравномерным напором?
В чём назначение вентиляторных ступеней в структуре ТРДД?

Лекция 11. Охлаждаемые лопатки газовых турбин

Почему необходимо охлаждать лопатки газовых турбин, и какие задачи ставит это требование?
Какие существуют виды охлаждения лопаток (конвективное, пленочное, транссонарное)?
Какие дополнительные потери энергии возникают в охлаждаемых решётках лопаток?
Какие особенности надо учитывать при расчёте охлаждаемых ступеней турбины?

Лекция 12. Типовые конструкции ступеней осевых компрессоров
Какие типовые конструкции осевых ступеней компрессоров встречаются в практике?
В чём заключаются особенности ступеней низкого, среднего и высокого давления?
Как геометрические параметры влияют на эффективность ступеней осевого компрессора?
Какие аэродинамические характеристики приобретают лопатки различных профилей?

Лекция 13. Тепловой расчет ступени осевого компрессора
Какие основные уравнения применяются при тепловом расчёте ступени осевого компрессора?
Как оценивается распределение температурных полей в лопатках и корпусе компрессора?
Как температурные деформации влияют на работу ступени?
Как проводится расчёт температурных напряжений в лопатках компрессора?

Лекция 14. Межступенчатый теплообмен в осевом компрессоре
Как влияет межступенчатое охлаждение на эффективность работы осевого компрессора?
Какие положительные и отрицательные эффекты наблюдаются при межступенчатом охлаждении?
Какие способы межступенчатого охлаждения наиболее распространены и эффективны?
Как выбирают оптимальные схемы межступенчатого охлаждения?

Лекция 15. Безразмерные характеристики лопаточных машин
Что такое безразмерные координаты характеристик турбин и компрессоров?
Как определяются и используются безразмерные параметры лопаточных машин?
Какие типовые характеристики наблюдаются у осевых лопаточных машин?
Как условия окружающей среды влияют на характеристики лопаточных машин?

Лекция 16. Неустойчивые режимы работы лопаточных машин
Какие причины приводят к возникновению неустойчивых режимов работы лопаточных машин?
Что представляют собой непериодические колебания давления и потока в лопаточных машинах?
Какие методы позволяют распознать и предотвратить неустойчивые режимы работы?
Какие приёмы применяются для компенсации неустойчивости лопаточных машин?

Лекция 17. Оптимизация конструкции лопаточных машин
Какие методы используются для оптимизации аэродинамических характеристик лопаток?
Каким образом оптимизируются параметры решёток профилей и шаг лопаток?
Как оптимизируются профили лопаток для повышения КПД лопаточных машин?
Какие современные подходы применяются для оптимизации лопаточных машин?

Лекция 18. Современные тенденции и перспективные технологии
Какие современные направления развития лопаточных машин актуальны сегодня?
Какие новые материалы и покрытия разработаны специально для лопаток?
Какие автоматизированные методы проектирования и расчёта лопаточных машин применяются сегодня?

Какие экологические технологии и перспективы развития микротурбин выходят на первый план?