Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 25.06.2026 12:15:50
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/
«26» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

АГРЕГАТЫ НАДДУВА

Направление подготовки/ специальность
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль/ специализация
Поршневые двигатели и турбомашины

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026

Разработчик(и):
д.т.н., профессор  / В.Н. Каминский/

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 5
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 8
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) 11
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 11
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 11
4.2. Основная литератур 11
4.3. Дополнительная литература 11
4.4. Электронные образовательные ресурсы 11
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 13
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 13
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 14
7. Фонд оценочных средств 15
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 15
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 17
7.3 Оценочные средства 21

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся теоретических знаний и практических навыков в области теории, расчёта, конструирования и эксплуатации агрегатов наддува поршневых двигателей и турбомашин, а также методов согласования характеристик наддувочных агрегатов с двигателем для обеспечения требуемых мощностных, экономических и экологических показателей на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

Задачами дисциплины являются:

В части теоретической подготовки:

- изучение классификации, принципов действия и конструктивных схем агрегатов наддува (турбокомпрессоров, приводных нагнетателей, комбинированных систем);
- освоение теории рабочих процессов в лопаточных компрессорах (центробежных и осевых) и турбинах, включая газодинамический расчёт параметров потока, построение треугольников скоростей и расчёт потерь;
- формирование знаний о характеристиках компрессоров и турбин, методах их построения и анализа характеристических полей;
- изучение методов термогазодинамического расчёта системы наддува и выбора основных параметров агрегатов наддува для заданного типа двигателя;
- анализ влияния наддува на рабочий процесс поршневого двигателя: изменение мощностных, экономических и экологических показателей.

В части формирования практических навыков:

- формирование навыков согласования характеристик турбокомпрессора с двигателем, включая расчёт параметров наддува на различных режимах работы;
- освоение методик оценки эффективности охлаждения наддувочного воздуха (промежуточных охладителей) и их влияния на рабочий процесс двигателя;
- приобретение навыков построения и анализа совместных характеристик двигателя и турбокомпрессора;
- формирование умений выполнять газодинамический и прочностной расчёт элементов турбокомпрессора с использованием современных методов (CAD/CAE);
- изучение конструктивных особенностей, материалов и технологий изготовления основных узлов агрегатов наддува (рабочих колёс компрессора и турбины, подшипниковых узлов, корпусов, систем смазки и охлаждения);
- освоение методов диагностики и оценки технического состояния агрегатов наддува в процессе эксплуатации.

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-2. Способен проводить расчетно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)	**ИПК-2.4.** Способен строить расчётную сетку для моделирования течения во впускном тракте
	ИПК-2.5. Способен получать распределение давления и скорости потока, оценивать гидравлические потери
	ИПК-2.6. Способен верифицировать CFD-модель по результатам термодинамического расчёта

Роль дисциплины в формировании компетенций:

Формирующая. Дисциплина реализует навыки CFD-моделирования течения в компрессоре и турбине, построения расчётных сеток (ИПК-2.4), анализа полей давления и скорости (ИПК-2.5), верификации CFD-моделей по результатам термодинамического расчёта

двигателя (ИПК-2.6). Студенты изучают газодинамические процессы в проточной части центробежных компрессоров и турбин, осваивают методы построения треугольников скоростей, расчёта характеристик, построения линий совместной работы с двигателем, а также выполняют лабораторные работы по снятию характеристик и анализу режимов работы агрегатов наддува.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Агрегаты наддува»** относится к **части блока Б.1, формируемой участниками образовательных отношений** учебного плана (код дисциплины: Б1.2.7) и изучается в **6-м семестре**.

Данная дисциплина является **ключевой для третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация»**, обеспечивая знания и навыки, необходимые для проектирования, расчёта и согласования системы наддува разрабатываемого двигателя с целью повышения его мощностных и экономических показателей.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении следующих дисциплин и курсов:

- **Термодинамика** (Б1.1.17, 3 семестр): знание термодинамических процессов сжатия и расширения, свойств газов необходимо для расчёта параметров наддува.
- **Вычислительная гидрогазодинамика в проектировании и верификации двигателей** (Б1.1.19, 4-5 семестры): знание газодинамики течений в каналах и лопаточных машинах необходимо для понимания работы компрессоров и турбин.
- **Теория рабочих процессов поршневых двигателей** (Б1.1.20, 4 семестр): понимание влияния наддува на рабочий процесс, индикаторные и эффективные показатели двигателя является основой для согласования характеристик.
- **Конструкция поршневых двигателей** (Б1.2.2, 2 семестр): знание конструкции двигателя и его систем необходимо для компоновки агрегатов наддува.
- **Теплообмен и теплообменные аппараты в энергетическом машиностроении** (Б1.2.6, 5 семестр): знание методов расчёта теплообменников необходимо для проектирования промежуточных охладителей наддувочного воздуха.
- **Инженерная механика машин и механизмов** (Б1.1.21, 4 семестр): знание динамики вращающихся масс необходимо для анализа работы ротора турбокомпрессора.
- **Конструкционные материалы поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.1.13, 3 семестр): знание жаропрочных и жаростойких материалов необходимо для выбора материалов турбин и компрессоров.

Основные положения дисциплины используются в дальнейшем при изучении следующих дисциплин и освоении элементов образовательной программы, обеспечивая завершение третьего и переход к четвёртому этапу сквозного проекта:

- **Конструирование и расчет механизмов энергетических установок** (Б1.1.22, 5-6 семестры) и **Конструирование поршневых двигателей** (Б1.2.8, 6 семестр): требуют учёта агрегатов наддува в общей компоновке и их сопряжения с системами двигателя (III этап).
- **Расчет и оптимизация деталей двигателя** (Б1.2.9, 6 семестр): методы CAE-анализа могут применяться для оптимизации элементов турбокомпрессоров (III этап).
- **Системы поршневых двигателей** (Б1.2.5, 5 семестр): система наддува интегрируется с системами питания, смазки и охлаждения (III этап).
- **Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.14, 7 семестр): характеристики системы наддува проверяются при стендовых испытаниях двигателя (IV этап).
- **Экология и токсичность поршневых двигателей** (Б1.2.17, 7 семестр): наддув влияет на процессы смесеобразования и сгорания, а следовательно, на токсичность отработавших газов.

- **Диагностика и техническая эксплуатация поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.18, 8 семестр): включает методы диагностики неисправностей турбокомпрессоров (V этап).
- **Комбинированные энергетические установки** (Б1.2.20, 8 семестр): системы наддува являются неотъемлемой частью комбинированных установок (V этап).
- Все последующие дисциплины, связанные с расчётом, конструированием, доводкой и эксплуатацией двигателей, а также подготовка и защита 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
			6
1	Аудиторные занятия	72	72
	В том числе:		
1.1	Лекции	36	36
1.2	Семинарские/практические занятия	18	18
1.3	Лабораторные занятия	18	18
2	Самостоятельная работа	72	72
3	Промежуточная аттестация		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	Зачет	Зачет
	Курсовой проект	–	–
	Курсовая работа	–	–
	Итого	**144**	**144**

3.2. Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
Семестр 6	**Агрегаты наддува**						
1	Тема 1. Введение. Цели и методы наддува. Термогазодинамические основы	26	8	6	2	0	10
2	Тема 2. Приводные нагнетатели (объемные компрессоры)	30	10	4	2	4	10
3	Тема 3. Центробежные компрессоры	34	12	6	2	4	10
4	Тема 4. Радиальные и осевые турбины	34	12	6	4	2	10
5	Тема 5. Турбокомпрессоры. Конструкция и характеристики	30	10	4	2	4	10
6	Тема 6. Согласование характеристик турбокомпрессора и двигателя	34	12	6	4	2	10
7	Тема 7. Регулирование и эксплуатация агрегатов наддува	28	8	4	2	2	12
	Итого за 1 семестр	**144**	**72**	**36**	**18**	**18**	**72**

3.3. Содержание дисциплины

Семестр 6. Агрегаты наддува

Тема 1. Введение. Цели и методы наддува. Термогазодинамические основы
Цель и задачи дисциплины. Роль наддува в форсировании двигателей, повышении литровой мощности и улучшении экономичности. Классификация систем наддува: механический наддув, газотурбинный наддув (турбонаддув), комбинированный наддув, волновые обменники давления. Принципиальные схемы. Термодинамические основы наддува. Параметры наддувочного воздуха: давление, температура, плотность. Влияние наддува на рабочий цикл двигателя. Идеальные циклы двигателей с наддувом. Степень повышения давления. Охлаждение наддувочного воздуха (промежуточное охлаждение) и его влияние на эффективность.

Тема 2. Приводные нагнетатели (объемные компрессоры)
Назначение и классификация приводных нагнетателей. Принцип действия, конструкция и характеристики объемных нагнетателей: шестеренных (Roots), винтовых (Lysholm), пластинчатых. Достоинства и недостатки, области применения. Рабочий процесс объемного нагнетателя. Индикаторная диаграмма. Подача, давление наддува, потребляемая мощность. КПД объемного нагнетателя. Регулирование производительности. Особенности привода от коленчатого вала. Применение в современных двигателях (например, компрессоры Eaton, Volkswagen TSI).

Тема 3. Центробежные компрессоры
Принцип действия центробежного компрессора. Основные элементы: рабочее колесо с лопатками, диффузор (безлопаточный, лопаточный), улитка (сборная камера). Треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса. Уравнение Эйлера для работы компрессора. Степень повышения давления. Характеристики центробежного компрессора: напорная характеристика (зависимость степени повышения давления от расхода), КПД. Линия рабочих режимов (working line), граница помпажа, линия запирания. Потери в компрессоре. Влияние геометрических параметров (угла лопаток, формы диффузора) на характеристики. Расчет основных параметров ступени центробежного компрессора.

Тема 4. Радиальные и осевые турбины
Принцип действия радиальной (центростремительной) и осевой турбин. Основные элементы: сопловой аппарат (направляющий аппарат), рабочее колесо. Треугольники скоростей. Степень понижения давления. Работа турбины. Уравнение Эйлера для турбины. Характеристики турбин: зависимость расхода газа и КПД от степени понижения давления и частоты вращения. Потери в турбине. Особенности конструкции радиальных турбин для автотракторных турбокомпрессоров. Турбины с изменяемой геометрией (VGT/VNT): конструкция, принцип работы, влияние на характеристики. Применение осевых турбин в крупных двигателях и энергетических установках.

Тема 5. Турбокомпрессоры. Конструкция и характеристики
Устройство турбокомпрессора как агрегата: компрессор и турбина на общем валу. Система смазки и охлаждения подшипникового узла (плавающие вкладыши, подшипники качения). Уплотнения вала. Конструктивные схемы (с опорами между колесами, с выносными опорами). Материалы деталей, работающих при высоких температурах. Характеристики турбокомпрессора: приведенные характеристики компрессора и турбины. Совместная работа компрессора и турбины. Определение параметров турбокомпрессора по характеристикам. Влияние атмосферных условий на работу турбокомпрессора.

Тема 6. Согласование характеристик турбокомпрессора и двигателя
Задачи согласования. Расчет потребного расхода воздуха и давления наддува для двигателя. Выбор турбокомпрессора по характеристикам. Построение линии совместной работы двигателя и компрессора на характеристике компрессора. Обеспечение запаса по помпажу. Влияние системы рециркуляции отработавших газов (EGR) на согласование. Особенности согласования для дизельных и бензиновых двигателей. Согласование для двухступенчатого наддува. Использование программных средств для моделирования совместной работы.

Тема 7. Регулирование и эксплуатация агрегатов наддува
Необходимость регулирования турбокомпрессора. Способы регулирования: перепуск отработавших

газов мимо турбины (wastegate), турбины с изменяемой геометрией (VGT), перепуск воздуха после компрессора (blow-off), регулируемый двухступенчатый наддув. Принцип работы, преимущества и недостатки каждого способа. Системы управления турбокомпрессорами. Особенности эксплуатации агрегатов наддува. Причины и последствия неисправностей (помпаж, заброс масла, разрушение подшипников, закоксовывание). Диагностика турбокомпрессоров. Требования к моторным маслам и воздушным фильтрам.

3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
1	Тема 1	Расчёт параметров наддува (давления, температуры) по заданной степени повышения	2
2	Тема 2	Расчёт производительности и потребляемой мощности объёмного нагнетателя (Roots)	2
3	Тема 3	Расчёт основных параметров ступени центробежного компрессора (работа, степень повышения давления)	2
4	Тема 4	Расчёт основных параметров радиальной турбины (работа, степень понижения давления)	2
5	Тема 5	Анализ характеристик центробежного компрессора (по заданному графику)	2
6	Тема 6	Построение линии совместной работы двигателя и компрессора на характеристике	2
7	Тема 6	Выбор турбокомпрессора для заданного двигателя по каталогу	2
8	Тема 7	Расчёт параметров системы перепуска отработавших газов (wastegate)	2
9	Тема 7	Анализ влияния промежуточного охладителя на параметры наддува	2
	Итого		**18**

3.4.2. Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
1	Тема 2	Изучение конструкции и снятие характеристик объёмного нагнетателя (на стенде)	4

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
2	Тема 3	Изучение конструкции центробежного компрессора (разрезные макеты, 3D-модели)	2
3	Тема 3	Снятие и анализ характеристики центробежного компрессора на стенде	4
4	Тема 4	Изучение конструкции радиальной турбины и турбины с изменяемой геометрией (VGT)	2
5	Тема 5	Разборка-сборка турбокомпрессора. Изучение конструкции подшипникового узла и уплотнений	4
6	Тема 6	Согласование характеристик турбокомпрессора и двигателя с использованием программного обеспечения	2
	Итого		**18**

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены. Однако результаты освоения дисциплины (навыки расчёта и выбора агрегатов наддува) используются при выполнении последующего курсового проекта по дисциплине «Конструирование и расчет поршневых двигателей», а также в выпускной квалификационной работе.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 14846–2020 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний
2. ГОСТ 10150– 2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия
3. ГОСТ Р 54120-2010 Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования

4.2. Основная литература

1. Баширов, Р. М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета : учебник / Р. М. Баширов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 336 с. — ISBN 978-5-8114-2741-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://reader.lanbook.com/book/96242
2. Уханов, А. П. Конструкция автомобилей и тракторов : учебник / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. А. Голубев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 188 с. — ISBN 978-5-8114-4582-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — https://reader.lanbook.com/book/122188
3. Гурьев, В. Г. Газотурбинный наддув судовых ДВС/ В. Г. Гурьев. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 124 с. — ISBN 978-5-9729-1538-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/346586

4.3. Дополнительная литература

1. Автомобильные двигатели. Рабочие процессы, конструкция, основы расчёта и эксплуатации : учебник / Н. Г. Фаталиев, М. М. Аливагабов, А. Х. Бекеев, М. А. Арсланов. — Махачкала : ДагГАУ имени М.М.Джамбулатова, 2018. — 316 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://reader.lanbook.com/book/113001
2. Щерба, В. Е. Теория, расчет и конструирование поршневых компрессоров объемного действия: В. Е. Щерба. — 2-е изд., доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 323 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09232-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/517027

4.4. Электронные образовательные ресурсы

1. Курс «Конструкция ДВС»
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=661

4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для освоения дисциплины и выполнения учебных, научно-исследовательских и проектных работ в рамках образовательной программы рекомендуется использование следующего лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения.

Microsoft Windows – лицензионная операционная система, используемая для обеспечения работы всех учебных компьютеров и персональных устройств в аудиториях университета. Доступна на всех компьютерах университета в рамках лицензионного соглашения. Студенты могут использовать свободно распространяемые альтернативы (Linux, Astra Linux) для выполнения учебных задач.

Microsoft Office – лицензионный пакет офисных приложений, включающий текстовый редактор Word, табличный процессор Excel, программу для создания презентаций PowerPoint. Используется для оформления расчётно-пояснительных записок, отчётов, презентаций и другой учебной документации. Доступен на компьютерах университета. Свободными аналогами являются LibreOffice и OpenOffice.

КОМПАС-3D – российская система трёхмерного моделирования, широко используемая в отечественном машиностроении. Позволяет выполнять параметрическое моделирование, создавать чертежи в соответствии с ЕСКД, проводить прочностные расчёты в среде APM FEM. Учебная версия доступна для свободного скачивания на сайте разработчика (https://kompas.ru).

4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для успешного освоения образовательной программы и выполнения научно-исследовательских, проектных и выпускных квалификационных работ студентам рекомендуется использовать следующие современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – крупнейшая российская электронная библиотека научных публикаций, интегрированная с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Содержит полнотекстовые статьи из научных журналов по энергетическому машиностроению, двигателестроению и смежным отраслям. Позволяет отслеживать публикационную активность и находить актуальные исследования. Доступ открыт с любого компьютера через сеть Интернет по адресу: https://elibrary.ru.

КиберЛенинка – научная электронная библиотека открытого доступа. Содержит полнотекстовые научные статьи, в том числе по техническим наукам, энергетическому машиностроению и двигателестроению. Все материалы доступны бесплатно. Адрес ресурса: https://cyberleninka.ru.

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (docs.cntd.ru**)** – бесплатная база нормативных документов, включающая ГОСТы, технические условия,

строительные нормы и правила. Удобна для оперативного поиска актуальных стандартов, необходимых при проектировании и расчётах деталей и узлов двигателей. Адрес: https://docs.cntd.ru.

Росстандарт (ФГУП «Стандартинформ») – официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Содержит информацию о действующих стандартах, технических регламентах и нормативных документах. Адрес: https://www.gost.ru.

Научная библиотека Московского политехнического университета – электронный каталог библиотеки университета, содержащий информацию о фондах учебной и научной литературы. Доступен с любого устройства, имеющего подключение к интернету. Адрес: https://lib.mospolytech.ru.

«Известия вузов. Машиностроение» – рецензируемый научный журнал открытого доступа, публикующий статьи по актуальным проблемам машиностроения, включая двигателестроение. Входит в перечень ВАК. Содержит исследования по рабочему процессу ДВС, динамике, прочности и другим направлениям. Адрес: https://izvuzmash.ru.

Объединение сетевых электронных библиотек (СЭБ) – некоммерческое партнёрство, объединяющее научную и учебную литературу вузов — участников проекта. Обеспечивает доступ к учебно-методическим материалам по техническим специальностям. Доступ осуществляется через портал ЭБС «Лань»: https://e.lanbook.com (авторизация по IP-адресам университета или через личный кабинет).

5. Материально-техническое обеспечение

Для успешного освоения дисциплины используется общий аудиторный фонд университета и специализированные аудитории, закреплённые за кафедрой, имеющие следующее материально-техническое обеспечение:

Наименование специальных помещений	**Оснащённость специальных помещений**
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Компьютерный класс № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Компьютеры и мебель для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-229 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.

6. Методические рекомендации

6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Эффективность освоения дисциплины определяется качеством организации учебного процесса, выбором адекватных форм и методов обучения. Преподавателю необходимо учитывать специфику дисциплины, уровень подготовленности обучающихся и современные образовательные технологии.

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.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- чётко представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- ознакомиться с видами учебной работы и содержанием разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен:

- назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы;
- во вступительной части обосновать место и роль темы, раскрыть её практическое значение, увязать с предыдущим материалом;
- в основной части раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание на ключевых категориях, явлениях и процессах, аргументированно обосновывать собственную позицию, приводить примеры, задавать риторические вопросы;
- руководить конспектированием, подчёркивая необходимость фиксации основных положений;
- в заключительной части сформулировать выводы, объявить план следующего занятия, дать рекомендации по подготовке.

При проведении практических (семинарских) занятий рекомендуется:

- обеспечивать активное участие всех студентов, использовать индивидуальные выступления, групповые дискуссии, решение практических задач, разбор кейсов;
- контролировать степень усвоения материала, поощрять самостоятельный поиск информации.

При проведении лабораторных занятий (при наличии) рекомендуется:

- ознакомить студентов с правилами техники безопасности;
- обеспечить понимание цели и задач каждой работы;
- организовать защиту работ с оценкой понимания сущности изучаемых процессов.

При организации самостоятельной работы студентов следует:

- чётко формулировать задания, указывать сроки выполнения;
- обеспечивать необходимыми учебно-методическими материалами;
- осуществлять регулярный контроль выполнения.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации рекомендуется:

- использовать разнообразные формы контроля в соответствии с фондом оценочных средств;
- обеспечить объективность оценивания, руководствуясь установленными критериями;
- своевременно доводить результаты до студентов с указанием ошибок и рекомендаций.

В целях повышения эффективности образовательного процесса рекомендуется использовать:

- мультимедийные презентации для визуализации материала;
- интерактивные методы обучения (деловые игры, дискуссии, разбор кейсов);
- дистанционные образовательные технологии;
- материалы, размещённые в системе дистанционного обучения Московского Политеха (СДО-LMS).

6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке необходимые издания. Доступ к информационным ресурсам организован в

читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного устройства через беспроводной доступ.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой с рекомендованными источниками и материалами лекций. Начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно.

Каждый студент должен самостоятельно планировать свою работу, исходя из возможностей и приоритетов. Для плодотворной работы важно организовать постоянное рабочее место, чередовать труд и отдых (перерывы каждые 1–2 часа).

Особое место уделяется консультированию как форме обучения и контроля. Консультирование предполагает взаимодействие между преподавателем и студентами, направленное на разрешение проблем.

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется:

- систематически посещать лекции, вести конспект;
- готовиться к практическим занятиям заранее, изучая теорию и выполняя задания;
- при наличии лабораторных работ — выполнять их в соответствии с методическими указаниями, оформлять отчёты и готовиться к защите;
- своевременно выполнять задания для самостоятельной работы;
- активно участвовать в обсуждениях, задавать вопросы;
- использовать СДО-LMS для доступа к материалам и выполнения тестов;
- регулярно проверять свои знания с помощью вопросов для самопроверки.

При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации рекомендуется:

- повторить теоретический материал по соответствующим разделам;
- выполнить практические задания, аналогичные разобранным на занятиях;
- ознакомиться с критериями оценивания;
- систематизировать материал, составить краткий план ответов;
- при необходимости посетить консультацию преподавателя.

Соблюдение данных рекомендаций позволит качественно освоить учебный материал и успешно пройти все формы контроля.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и/или выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации (зачёта). Дисциплина «Агрегаты наддува» является формирующей для компетенции ПК-2, обеспечивая теоретические знания и практические навыки в области теории, расчёта, конструирования и эксплуатации агрегатов наддува поршневых двигателей и турбомашин, а также методов согласования характеристик наддувочных агрегатов с двигателем для обеспечения требуемых мощностных, экономических и экологических показателей на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих компетенций и индикаторов:

ПК-2. Способен проводить расчетно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)

Индикаторы достижения компетенции:

- **ИПК-2.4.** Способен строить расчётную сетку для моделирования течения во впускном тракте.
- **ИПК-2.5.** Способен получать распределение давления и скорости потока, оценивать гидравлические потери.
- **ИПК-2.6.** Способен верифицировать CFD-модель по результатам термодинамического расчёта.

Дисциплина «Агрегаты наддува» является ключевой для третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация», обеспечивая знания и навыки, необходимые для проектирования, расчёта и согласования системы наддува разрабатываемого двигателя с целью повышения его мощностных и экономических показателей. В ходе изучения дисциплины студент осваивает классификацию, принципы действия и конструктивные схемы агрегатов наддува, теорию рабочих процессов в лопаточных компрессорах и турбинах, методы расчёта характеристик компрессоров и турбин, методы термогазодинамического расчёта системы наддува, методы согласования характеристик турбокомпрессора с двигателем, а также вопросы эксплуатации и диагностики агрегатов наддува.

В процессе изучения дисциплины используются следующие методы контроля.

Текущее (рубежное) тестирование по модулям

Проводится после завершения изучения каждого из двух модулей дисциплины. Тестирование осуществляется в письменной или компьютерной форме и включает вопросы закрытого и открытого типа, а также расчётные задачи, направленные на проверку знаний классификации агрегатов наддува, теории рабочих процессов в компрессорах и турбинах, методов расчёта характеристик, методов согласования с двигателем, вопросов регулирования и эксплуатации. Результаты тестирования используются для оценки уровня освоения материала модуля и определения готовности студента к дальнейшему обучению. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6.

Устный опрос (собеседование)

Проводится в ходе практических и лабораторных занятий для проверки понимания студентом теоретического материала, способности аргументированно излагать принципы работы агрегатов наддува, анализировать характеристики компрессоров и турбин, обосновывать выбор турбокомпрессора для конкретного двигателя, объяснять методы регулирования наддува. Устный опрос может быть как индивидуальным, так и фронтальным, и направлен на выявление глубины усвоения материала, умения применять полученные знания для решения профессиональных задач. В рамках сквозного проекта устный опрос позволяет оценить способность студента обосновывать выбор агрегатов наддува для проектируемого двигателя. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6.

Практические занятия

В ходе выполнения практических заданий (расчёт параметров наддува, расчёт производительности и потребляемой мощности объёмного нагнетателя, расчёт параметров ступени центробежного компрессора и радиальной турбины, анализ характеристик компрессора, построение линии совместной работы двигателя и компрессора, выбор турбокомпрессора по каталогу, расчёт параметров системы перепуска отработавших газов) оценивается способность студента применять теоретические знания для решения конкретных профессиональных задач. Результаты выполнения практических заданий фиксируются в виде отчётов, которые защищаются студентом в устной форме. Практические занятия ориентированы на формирование навыков расчёта и выбора агрегатов наддува, необходимых для выполнения третьего этапа сквозного проекта. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6.

Лабораторные занятия

В ходе выполнения лабораторных работ студент работает с лабораторными стендами, изучает конструкции объёмных нагнетателей, центробежных компрессоров и турбин, снимает характеристики компрессора, выполняет разборку и сборку турбокомпрессора, изучает конструкцию подшипникового узла и уплотнений, выполняет согласование характеристик турбокомпрессора и двигателя с использованием программного обеспечения. Оценивается умение работать с лабораторным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, анализировать характеристики. Лабораторные работы выполняются в соответствии с методическими указаниями и защищаются студентом путем ответов на контрольные вопросы. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6.

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические

знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с выбором и согласованием агрегатов наддува для проектируемого двигателя. Содержание индивидуального задания включает расчёт потребного расхода воздуха и давления наддува для двигателя, выбор турбокомпрессора по характеристикам, построение линии совместной работы двигателя и компрессора, обеспечение запаса по помпажу, расчёт параметров системы регулирования (wastegate, VGT). Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объёмом 10-15 страниц. Защита индивидуального задания проводится в форме презентации результатов перед преподавателем. Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта позволяет комплексно оценить сформированность индикаторов ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6.

Зачёт

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта по завершении изучения дисциплины. Зачёт позволяет комплексно оценить знания, умения и навыки студента по всем разделам дисциплины. Зачёт проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь материал дисциплины, с возможным выполнением практического задания (расчёт параметров наддува, выбор турбокомпрессора, построение линии совместной работы). Результаты зачёта определяют итоговую оценку по дисциплине и отражают степень сформированности знаний, необходимых для выполнения третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». Проверяемые индикаторы: ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6.

Роль дисциплины в оценке результатов сквозного проекта

Дисциплина «Агрегаты наддува» формирует фундаментальные знания и навыки, необходимые для выполнения третьего этапа сквозного проекта — «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». В рамках этого этапа студент должен выбрать и согласовать агрегаты наддува для проектируемого двигателя, обеспечить требуемые параметры наддува, выполнить расчёт характеристик и построить линию совместной работы. Результаты освоения дисциплины оцениваются в ходе защиты индивидуального задания и отчёта по третьему этапу сквозного проекта. Оценка сформированности компетенции ПК-2 по дисциплине учитывается при подведении итогов выполнения сквозного проекта в целом.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Критерии оценки текущего (рубежного) тестирования по модулям

Текущее (рубежное) тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно более 75% заданий теста (набрано более 15 баллов). Студент, получивший «зачтено», демонстрирует достаточное знание теоретического материала модуля, владеет методами расчёта параметров наддува, характеристик компрессоров и турбин, методами согласования турбокомпрессора с двигателем, знает принципы регулирования наддува. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне индикаторов ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6 в части теоретических основ агрегатов наддува.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно менее 75% заданий теста (набрано 15 баллов и менее). Студент, получивший «не зачтено», не владеет основным материалом модуля, допускает грубые ошибки в расчёте параметров наддува, не может построить линию совместной работы, не знает методов регулирования. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

Критерии оценки итогового тестирования по курсу

Оценка «зачтено» выставляется студенту, набравшему от 18 до 30 баллов (60-100% правильных ответов). Студент демонстрирует системные теоретические знания по всем разделам дисциплины, уверенно рассчитывает параметры наддува, анализирует характеристики

компрессоров и турбин, выполняет согласование турбокомпрессора с двигателем, обосновывает выбор системы регулирования. Сформированность индикаторов ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6 оценивается на пороговом или более высоком уровне, что позволяет студенту успешно выполнить раздел сквозного проекта, связанный с выбором и согласованием агрегатов наддува.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, набравшему от 0 до 17 баллов (менее 60% правильных ответов). Студент не демонстрирует системных знаний, не владеет основными понятиями, не может выполнить расчёт параметров наддува, допускает грубые ошибки. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение раздела сквозного проекта по выбору агрегатов наддува без дополнительной подготовки.

Критерии оценки устного опроса (собеседования)

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который продемонстрировал достаточный уровень знаний материала. Студент владеет основными понятиями и методами расчёта агрегатов наддува, умеет решать типовые задачи, анализирует характеристики компрессоров и турбин. Допускаются отдельные неточности, не искажающие сути ответа. Студент владеет профессиональной терминологией.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, допускает грубые ошибки в изложении, не может выполнить расчёт параметров наддува. Отсутствует понимание процессов, происходящих в агрегатах наддува. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Студент не готов к выполнению раздела сквозного проекта по выбору агрегатов наддува.

Критерии оценки практических занятий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил практическое задание правильно, в установленные сроки. Студент продемонстрировал понимание методики решения задачи, способность применять теоретические знания для расчёта параметров наддува, характеристик компрессоров и турбин, построения линии совместной работы, выбора турбокомпрессора по каталогу. При защите студент аргументирует полученные результаты, отвечает на уточняющие вопросы, демонстрирует владение профессиональной терминологией. В рамках сквозного проекта успешное выполнение практических заданий позволяет студенту овладеть методами расчёта и выбора агрегатов наддува, необходимыми для проектирования двигателя.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил практическое задание, выполнил его не в полном объёме, или выполнил с грубыми ошибками. Студент не понимает методику решения, не может объяснить полученные результаты, не отвечает на вопросы по существу задания, не владеет профессиональной терминологией. Студент обязан выполнить практическое задание повторно в установленные преподавателем сроки.

Критерии оценки лабораторных работ

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил лабораторную работу в полном объёме, в установленные сроки. Студент продемонстрировал умение работать с лабораторным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, анализировать характеристики компрессора и турбины, выполнять разборку и сборку турбокомпрессора. При защите работы студент показывает понимание цели и методики проведения работы, уверенно отвечает на контрольные вопросы, правильно интерпретирует полученные результаты. Отчёт оформлен в соответствии с требованиями. Успешное выполнение лабораторных работ позволяет студенту получить практический опыт, необходимый для верификации расчётных моделей в рамках сквозного проекта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил лабораторную работу, выполнил её не в полном объёме, или выполнил с грубыми ошибками. При защите студент не понимает цели и методики работы, не может ответить на контрольные вопросы, допускает грубые ошибки в интерпретации результатов. Отсутствует отчёт или он оформлен с грубыми нарушениями требований. Студент обязан выполнить лабораторную работу повторно в установленные преподавателем сроки.

Критерии оценки индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание в соответствии с требованиями. Студент демонстрирует понимание методов расчёта и согласования агрегатов наддува, выполняет расчёт потребного расхода воздуха и давления наддува, выбирает турбокомпрессор по характеристикам, строит линию совместной работы. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями. При защите студент отвечает на вопросы, демонстрирует понимание физических процессов, протекающих в агрегатах наддува. Сформированность индикаторов ИПК-2.4, ИПК-2.5, ИПК-2.6 оценивается на пороговом или более высоком уровне.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил индивидуальное задание, выполнил его не в полном объёме или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания методов расчёта, не может выполнить расчёты. Пояснительная записка отсутствует или оформлена с грубыми нарушениями. При защите студент не отвечает на вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня. Студент обязан выполнить индивидуальное задание повторно в установленные преподавателем сроки.

Критерии оценки ответа на зачёте

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который продемонстрировал достаточный уровень знаний и умений, необходимых для формирования компетенций по дисциплине. Студент уверенно отвечает на вопросы, демонстрируя знание ключевых понятий и терминов дисциплины, классификации агрегатов наддува, принципов их работы, методов расчёта и согласования. Ответы логичны и обоснованы, соответствуют требованиям программы. Студент способен решать типовые задачи (расчёт параметров наддува, анализ характеристик компрессора) и применять теоретические знания на практике.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не продемонстрировал достаточного уровня знаний и умений, допущены существенные ошибки, отсутствует понимание ключевых понятий и/или неспособность применять знания на практике. Студент не может выполнить расчёт параметров наддува, не понимает принципов работы турбокомпрессора, не может построить линию совместной работы. Ответы не соответствуют требованиям, уровень подготовки недостаточен.

7.3 Оценочные средства

Текущий контроль
Модульная структура дисциплины

Дисциплина изучается в 6-м семестре. Семестр делится на два равных модуля (периода), каждый из которых включает определенные темы.

Модуль 1 (недели 1–8) — Основы наддува. Приводные нагнетатели. Центробежные компрессоры

Включает темы: Тема 1. Введение. Цели и методы наддува. Термогазодинамические основы; Тема 2. Приводные нагнетатели (объемные компрессоры); Тема 3. Центробежные компрессоры; Тема 4. Радиальные и осевые турбины.

Модуль 2 (недели 9–16) — Турбокомпрессоры. Согласование. Регулирование и эксплуатация

Включает темы: Тема 5. Турбокомпрессоры. Конструкция и характеристики; Тема 6. Согласование характеристик турбокомпрессора и двигателя; Тема 7. Регулирование и эксплуатация агрегатов наддува.

Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)
Модуль 1. Основы наддува. Приводные нагнетатели. Центробежные компрессоры

Перечень вопросов для собеседования:

1. Цель и задачи дисциплины. Роль наддува в форсировании двигателей, повышении литровой мощности и улучшении экономичности.

2. Классификация систем наддува: механический наддув, газотурбинный наддув (турбонаддув), комбинированный наддув, волновые обменники давления. Принципиальные схемы.

3. Термодинамические основы наддува. Параметры наддувочного воздуха: давление, температура, плотность. Влияние наддува на рабочий цикл двигателя.

4. Идеальные циклы двигателей с наддувом. Степень повышения давления. Охлаждение наддувочного воздуха (промежуточное охлаждение) и его влияние на эффективность.

5. Назначение и классификация приводных нагнетателей. Принцип действия, конструкция и характеристики объемных нагнетателей: шестеренных (Roots), винтовых (Lysholm), пластинчатых.

6. Достоинства и недостатки объемных нагнетателей, области применения. Рабочий процесс объемного нагнетателя. Индикаторная диаграмма.

7. Подача, давление наддува, потребляемая мощность объемного нагнетателя. КПД объемного нагнетателя. Регулирование производительности.

8. Особенности привода от коленчатого вала. Применение в современных двигателях (например, компрессоры Eaton, Volkswagen TSI).

9. Принцип действия центробежного компрессора. Основные элементы: рабочее колесо с лопатками, диффузор (безлопаточный, лопаточный), улитка (сборная камера).

10. Треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса. Уравнение Эйлера для работы компрессора. Степень повышения давления.

11. Характеристики центробежного компрессора: напорная характеристика (зависимость степени повышения давления от расхода), КПД. Линия рабочих режимов (working line), граница помпажа, линия запирания.

12. Потери в компрессоре. Влияние геометрических параметров (угла лопаток, формы диффузора) на характеристики. Расчет основных параметров ступени центробежного компрессора.

13. Принцип действия радиальной (центростремительной) и осевой турбин. Основные элементы: сопловой аппарат (направляющий аппарат), рабочее колесо.

14. Треугольники скоростей. Степень понижения давления. Работа турбины. Уравнение Эйлера для турбины.

15. Характеристики турбин: зависимость расхода газа и КПД от степени понижения давления и частоты вращения. Потери в турбине.

16. Особенности конструкции радиальных турбин для автотракторных турбокомпрессоров. Турбины с изменяемой геометрией (VGT/VNT): конструкция, принцип работы, влияние на характеристики.

17. Применение осевых турбин в крупных двигателях и энергетических установках.

Модуль 2. Турбокомпрессоры. Согласование. Регулирование и эксплуатация

Перечень вопросов для собеседования:

1. Устройство турбокомпрессора как агрегата: компрессор и турбина на общем валу. Система смазки и охлаждения подшипникового узла (плавающие вкладыши, подшипники качения).

2. Уплотнения вала. Конструктивные схемы (с опорами между колесами, с выносными опорами). Материалы деталей, работающих при высоких температурах.

3. Характеристики турбокомпрессора: приведенные характеристики компрессора и турбины. Совместная работа компрессора и турбины.

4. Определение параметров турбокомпрессора по характеристикам. Влияние атмосферных условий на работу турбокомпрессора.

5. Задачи согласования. Расчет потребного расхода воздуха и давления наддува для двигателя. Выбор турбокомпрессора по характеристикам.

6. Построение линии совместной работы двигателя и компрессора на характеристике компрессора. Обеспечение запаса по помпажу.

7. Влияние системы рециркуляции отработавших газов (EGR) на согласование. Особенности согласования для дизельных и бензиновых двигателей.

8. Согласование для двухступенчатого наддува. Использование программных средств для моделирования совместной работы.

9. Необходимость регулирования турбокомпрессора. Способы регулирования: перепуск отработавших газов мимо турбины (wastegate).

10. Турбины с изменяемой геометрией (VGT): принцип работы, преимущества и недостатки. Перепуск воздуха после компрессора (blow-off).

11. Регулируемый двухступенчатый наддув. Системы управления турбокомпрессорами.

12. Особенности эксплуатации агрегатов наддува. Причины и последствия неисправностей (помпаж, заброс масла, разрушение подшипников, закоксовывание).

13. Диагностика турбокомпрессоров. Требования к моторным маслам и воздушным фильтрам.

14. Какие требования предъявляются к расчётной сетке для CFD-моделирования течения в компрессоре? Как влияет качество сетки на точность расчёта?

Рубежный контроль по модулям (тестирование)

Тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест – 20. Оценка «зачтено» выставляется при выполнении верно более 75% заданий (более 15 баллов).

Пример тестовых заданий (один вариант)

1. **Какой тип нагнетателя является приводным и характеризуется высокой производительностью на низких оборотах?**

2. A) Турбокомпрессор

3. B) Компрессор Roots

4. C) Центробежный компрессор

5. D) Осевой компрессор

Правильный ответ: B

6. **Какой элемент центробежного компрессора предназначен для преобразования кинетической энергии потока в потенциальную?**

7. A) Рабочее колесо

8. B) Диффузор

9. C) Улитка

10. D) Входной патрубок

Правильный ответ: B

11. **Какой параметр характеризует границу устойчивой работы компрессора?**

12. A) Линия запирания

13. B) Линия помпажа

14. C) Линия рабочих режимов

15. D) Линия максимального КПД

Правильный ответ: B

16. **Какой элемент турбокомпрессора предназначен для регулирования давления наддува путем перепуска отработавших газов мимо турбины?**

17. A) VGT

18. B) Интеркулер

19. C) Wastegate

20. D) Blow-off клапан

Правильный ответ: C

21. **Какой способ регулирования турбокомпрессора позволяет изменять геометрию соплового аппарата?**

22. A) Wastegate

23. B) VGT (Variable Geometry Turbine)

24. C) Blow-off

25. D) Двухступенчатый наддув

Правильный ответ: B

Оценочные средства для индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с выбором и согласованием агрегатов наддува для проектируемого двигателя.

Содержание индивидуального задания:

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Расчёт потребных параметров наддува.** На основе заданных параметров двигателя (мощность, частота вращения, рабочий объем, тип двигателя) выполняется расчёт потребного расхода воздуха и давления наддува. Определяются параметры наддувочного воздуха на различных режимах работы двигателя.
2. **Выбор типа агрегата наддува.** Обосновывается выбор типа агрегата наддува (турбокомпрессор, приводной нагнетатель, комбинированная система) с учётом требований к двигателю и условий эксплуатации.
3. **Выбор турбокомпрессора по характеристикам.** По рассчитанным параметрам (расход воздуха, давление наддува) выбирается турбокомпрессор из существующих типоразмеров. Анализируются характеристики компрессора (напорная характеристика, КПД). Определяется рабочая точка на характеристике компрессора.
4. **Построение линии совместной работы двигателя и компрессора.** Для выбранного турбокомпрессора строится линия совместной работы двигателя и компрессора на характеристике компрессора. Определяются рабочие точки для различных режимов (режим максимального крутящего момента, режим номинальной мощности, режим холостого хода). Оценивается запас по помпажу.
5. **Расчёт параметров системы регулирования.** При необходимости рассчитываются параметры системы регулирования давления наддува: для wastegate определяется диаметр перепускного клапана, для VGT — параметры регулирования геометрии.
6. **Разработка рекомендаций по эксплуатации.** Формулируются рекомендации по эксплуатации выбранного агрегата наддува (требования к маслу, периодичность обслуживания, возможные неисправности и способы их устранения).

Требования к оформлению:

Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объемом 10-15 страниц, включающей:

- титульный лист с указанием темы задания, ФИО студента, группы, руководителя;
- содержание;
- введение с обоснованием актуальности выбора агрегатов наддува;
- основную часть, содержащую расчёт параметров наддува, выбор турбокомпрессора, построение линии совместной работы, расчёт параметров регулирования, рекомендации по эксплуатации;
- графические материалы (характеристики компрессора с нанесённой линией совместной работы);

- заключение с выводами по результатам выполненной работы;
- список использованных источников.

Примерные темы индивидуальных заданий:

1. Выбор и согласование турбокомпрессора для дизельного двигателя мощностью 150 кВт.
2. Выбор и согласование турбокомпрессора для бензинового двигателя с турбонаддувом мощностью 200 кВт.
3. Сравнительный анализ применения турбокомпрессора и приводного нагнетателя для двигателя мощностью 100 кВт.
4. Расчёт параметров системы двухступенчатого наддува для дизельного двигателя.
5. Выбор турбокомпрессора для двигателя с системой рециркуляции отработавших газов (EGR).
6. Анализ характеристик турбокомпрессора и построение линии совместной работы с двигателем.

Оценочные средства для практических занятий

Типовые задания для практических занятий

Модуль 1. Основы наддува. Приводные нагнетатели. Центробежные компрессоры

Задание 1. Расчёт параметров наддува (давления, температуры) по заданной степени повышения

Для заданных начальных параметров воздуха (давление p0, температура T0) и степени повышения давления $\pi_к$ определить давление и температуру наддувочного воздуха. Оценить влияние промежуточного охлаждения.

Задание 2. Расчёт производительности и потребляемой мощности объёмного нагнетателя (Roots)

Для заданного объёмного нагнетателя (рабочий объём, частота вращения) определить производительность, давление наддува, потребляемую мощность. Оценить КПД нагнетателя.

Задание 3. Расчёт основных параметров ступени центробежного компрессора (работа, степень повышения давления)

Для заданных параметров на входе в компрессор и окружной скорости рабочего колеса определить работу компрессора, степень повышения давления. Оценить влияние угла лопаток.

Задание 4. Расчёт основных параметров радиальной турбины (работа, степень понижения давления)

Для заданных параметров на входе в турбину и окружной скорости рабочего колеса определить работу турбины, степень понижения давления. Оценить КПД турбины.

Модуль 2. Турбокомпрессоры. Согласование. Регулирование и эксплуатация

Задание 5. Анализ характеристик центробежного компрессора (по заданному графику)

По заданной характеристике центробежного компрессора определить рабочую точку для заданных расхода и степени повышения давления. Оценить КПД компрессора, запас по помпажу.

Задание 6. Построение линии совместной работы двигателя и компрессора на характеристике

Для заданного двигателя и компрессора построить линию совместной работы. Определить параметры в характерных точках (режим максимального крутящего момента, режим номинальной мощности). Оценить запас по помпажу.

Задание 7. Выбор турбокомпрессора для заданного двигателя по каталогу

По заданным параметрам двигателя (расход воздуха, давление наддува) выбрать турбокомпрессор из каталога. Указать типоразмер, основные характеристики. Обосновать выбор.

Задание 8. Расчёт параметров системы перепуска отработавших газов (wastegate)

Для заданного двигателя и турбокомпрессора рассчитать диаметр перепускного клапана wastegate для обеспечения требуемого давления наддува на режиме номинальной мощности.

Задание 9. Анализ влияния промежуточного охладителя на параметры наддува

Для заданных параметров наддувочного воздуха рассчитать температуру после интеркулера. Оценить влияние охлаждения на плотность воздуха и массовый расход.

Оценочные средства для лабораторных занятий

Перечень лабораторных работ и контрольные вопросы для защиты

Лабораторная работа №1. Изучение конструкции и снятие характеристик объёмного нагнетателя (на стенде)

Краткое содержание: изучение конструкции объёмного нагнетателя (Roots). Подключение к стенду, измерение параметров (расход, давление, частота вращения, температура). Построение характеристик: зависимость давления наддува и потребляемой мощности от расхода.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как устроен объёмный нагнетатель Roots?
- Как определяется производительность нагнетателя?
- Какие факторы влияют на КПД объёмного нагнетателя?
- Каковы преимущества и недостатки объёмных нагнетателей?

Лабораторная работа №2. Изучение конструкции центробежного компрессора (разрезные макеты, 3D-модели)

Краткое содержание: изучение конструкции центробежного компрессора: рабочее колесо, диффузор, улитка. Анализ геометрии лопаток. Ознакомление с материалами, применяемыми для изготовления компрессорных колёс.

Контрольные вопросы для защиты:

- Из каких основных элементов состоит центробежный компрессор?
- Каково назначение диффузора?
- Как влияет форма лопаток на характеристики компрессора?
- Какие материалы применяются для изготовления компрессорных колёс?

Лабораторная работа №3. Снятие и анализ характеристики центробежного компрессора на стенде

Краткое содержание: проведение испытаний центробежного компрессора на стенде. Измерение расхода, давления, температуры, частоты вращения. Построение характеристик: зависимости степени повышения давления и КПД от расхода. Определение границы помпажа.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как снимается характеристика компрессора?
- Что такое помпаж и чем он опасен?
- Как определяется КПД компрессора?
- Какие параметры влияют на положение границы помпажа?

Лабораторная работа №4. Изучение конструкции радиальной турбины и турбины с изменяемой геометрией (VGT)

Краткое содержание: изучение конструкции радиальной турбины: сопловой аппарат, рабочее колесо. Изучение конструкции турбины с изменяемой геометрией (VGT/VNT). Анализ механизма изменения геометрии.

Контрольные вопросы для защиты:

- Из каких основных элементов состоит радиальная турбина?
- Как работает турбина с изменяемой геометрией?
- Каковы преимущества VGT по сравнению с wastegate?
- Какие материалы применяются для изготовления турбинных колёс?

Лабораторная работа №5. Разборка-сборка турбокомпрессора. Изучение конструкции подшипникового узла и уплотнений

Краткое содержание: разборка турбокомпрессора, изучение конструкции подшипникового узла (плавающие вкладыши, подшипники качения), уплотнений (поршневые кольца, лабиринтные уплотнения). Анализ системы смазки и охлаждения.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как устроен подшипниковый узел турбокомпрессора?
- Какие типы уплотнений применяются в турбокомпрессорах?
- Как осуществляется смазка и охлаждение турбокомпрессора?
- Каковы причины выхода из строя подшипников турбокомпрессора?

Лабораторная работа №6. Согласование характеристик турбокомпрессора и двигателя с использованием программного обеспечения

Краткое содержание: работа с программным обеспечением для моделирования совместной работы двигателя и турбокомпрессора. Ввод параметров двигателя и характеристик турбокомпрессора. Построение линии совместной работы. Анализ запаса по помпажу.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие исходные данные необходимы для моделирования совместной работы?
- Как строится линия совместной работы?
- Что такое запас по помпажу и как он определяется?
- Как влияет система EGR на согласование?

Оценочные средства для курсовой работы (проекта)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены учебным планом. Результаты освоения дисциплины используются при выполнении последующих курсовых проектов по профильным дисциплинам (Б1.1.12, Б1.1.22, Б1.2.8) и в выпускной квалификационной работе для выбора и согласования агрегатов наддува.

Промежуточная аттестация (зачет)

Условия допуска к зачету

Студент допускается к сдаче зачета при выполнении следующих условий:

- Успешное прохождение всех двух рубежных контролей (устных опросов по модулям) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Выполнение и защита всех лабораторных работ, предусмотренных учебным планом (6 лабораторных работ).
- Выполнение и защита всех практических занятий (не менее 80% заданий выполнены и защищены).
- Выполнение и защита индивидуального задания в рамках сквозного проекта (выбор и согласование агрегатов наддува) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Отсутствие академической задолженности по дисциплине.

Структура билета на зачете

Зачет проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь материал дисциплины. В процессе собеседования студенту может быть предложено выполнить практическое задание (расчёт параметров наддува, построение линии совместной работы, анализ характеристик).

Структура собеседования:

- **Теоретический вопрос 1:** из области классификации агрегатов наддува, приводных нагнетателей, центробежных компрессоров, турбин.
- **Теоретический вопрос 2:** из области турбокомпрессоров, согласования характеристик, регулирования и эксплуатации.
- **Практическое задание:** расчёт параметров наддува, построение линии совместной работы, анализ характеристик компрессора.

Перечень вопросов для подготовки к зачету

Модуль 1. Основы наддува. Приводные нагнетатели. Центробежные компрессоры

1. Цель и задачи дисциплины. Роль наддува в форсировании двигателей, повышении литровой мощности и улучшении экономичности.
2. Классификация систем наддува: механический наддув, газотурбинный наддув (турбонаддув), комбинированный наддув, волновые обменники давления. Принципиальные схемы.
3. Термодинамические основы наддува. Параметры наддувочного воздуха: давление, температура, плотность. Влияние наддува на рабочий цикл двигателя.
4. Идеальные циклы двигателей с наддувом. Степень повышения давления. Охлаждение наддувочного воздуха (промежуточное охлаждение) и его влияние на эффективность.
5. Назначение и классификация приводных нагнетателей. Принцип действия, конструкция и характеристики объемных нагнетателей: шестеренных (Roots), винтовых (Lysholm), пластинчатых.
6. Достоинства и недостатки объемных нагнетателей, области применения. Рабочий процесс объемного нагнетателя. Индикаторная диаграмма.
7. Подача, давление наддува, потребляемая мощность объемного нагнетателя. КПД объемного нагнетателя. Регулирование производительности.
8. Особенности привода от коленчатого вала. Применение в современных двигателях.
9. Принцип действия центробежного компрессора. Основные элементы: рабочее колесо с лопатками, диффузор (безлопаточный, лопаточный), улитка (сборная камера).
10. Треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса. Уравнение Эйлера для работы компрессора. Степень повышения давления.
11. Характеристики центробежного компрессора: напорная характеристика (зависимость степени повышения давления от расхода), КПД. Линия рабочих режимов (working line), граница помпажа, линия запирания.
12. Потери в компрессоре. Влияние геометрических параметров (угла лопаток, формы диффузора) на характеристики. Расчет основных параметров ступени центробежного компрессора.
13. Принцип действия радиальной (центростремительной) и осевой турбин. Основные элементы: сопловой аппарат (направляющий аппарат), рабочее колесо.
14. Треугольники скоростей. Степень понижения давления. Работа турбины. Уравнение Эйлера для турбины.
15. Характеристики турбин: зависимость расхода газа и КПД от степени понижения давления и частота вращения. Потери в турбине.
16. Особенности конструкции радиальных турбин для автотракторных турбокомпрессоров. Турбины с изменяемой геометрией (VGT/VNT): конструкция, принцип работы, влияние на характеристики.
17. Применение осевых турбин в крупных двигателях и энергетических установках.

Модуль 2. Турбокомпрессоры. Согласование. Регулирование и эксплуатация

18. Устройство турбокомпрессора как агрегата: компрессор и турбина на общем валу. Система смазки и охлаждения подшипникового узла (плавающие вкладыши, подшипники качения).

19. Уплотнения вала. Конструктивные схемы (с опорами между колесами, с выносными опорами). Материалы деталей, работающих при высоких температурах.

20. Характеристики турбокомпрессора: приведенные характеристики компрессора и турбины. Совместная работа компрессора и турбины.

21. Определение параметров турбокомпрессора по характеристикам. Влияние атмосферных условий на работу турбокомпрессора.

22. Задачи согласования. Расчет потребного расхода воздуха и давления наддува для двигателя. Выбор турбокомпрессора по характеристикам.

23. Построение линии совместной работы двигателя и компрессора на характеристике компрессора. Обеспечение запаса по помпажу.

24. Влияние системы рециркуляции отработавших газов (EGR) на согласование. Особенности согласования для дизельных и бензиновых двигателей.

25. Согласование для двухступенчатого наддува. Использование программных средств для моделирования совместной работы.

26. Необходимость регулирования турбокомпрессора. Способы регулирования: перепуск отработавших газов мимо турбины (wastegate).

27. Турбины с изменяемой геометрией (VGT): принцип работы, преимущества и недостатки. Перепуск воздуха после компрессора (blow-off).

28. Регулируемый двухступенчатый наддув. Системы управления турбокомпрессорами.

29. Особенности эксплуатации агрегатов наддува. Причины и последствия неисправностей (помпаж, заброс масла, разрушение подшипников, закоксовывание).

30. Диагностика турбокомпрессоров. Требования к моторным маслам и воздушным фильтрам.

Примеры практических заданий для зачета

Пример 1. Расчёт параметров наддува

Задание: Для двигателя мощностью N_e = 100 кВт, с расходом воздуха $G_в$ = 0,1 кг/с, температурой на входе в компрессор T_0 = 288 К, давлением p_0 = 0,1 МПа, степенью повышения давления $\pi_к$ = 2,5. Определить давление и температуру наддувочного воздуха после компрессора. Показатель адиабаты k = 1,4, КПД компрессора $\eta_к$ = 0,75.

Пример 2. Построение линии совместной работы (качественно)

Задание: На характеристике компрессора (предоставлен график) нанести линию совместной работы двигателя для режимов: n = 1500 об/мин, n = 2500 об/мин, n = 3500 об/мин. Определить запас по помпажу на режиме максимального крутящего момента.

Пример 3. Анализ характеристик турбокомпрессора

Задание: По заданной характеристике компрессора определить рабочую точку при расходе воздуха $G_в$ = 0,15 кг/с и степени повышения давления $\pi_к$ = 2,2. Определить КПД компрессора в этой точке. Оценить, находится ли рабочая точка в зоне помпажа.

Пример 4. Выбор турбокомпрессора

Задание: Для двигателя с расходом воздуха $G_в$ = 0,2 кг/с и требуемым давлением наддува $p_к$ = 0,22 МПа при давлении на входе p_0 = 0,1 МПа выбрать турбокомпрессор из каталога (приведены характеристики нескольких типоразмеров). Обосновать выбор.