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

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТУРБОМАШИН

Направление подготовки/ специальность
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

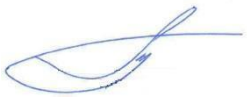
Профиль/ специализация
Поршневые двигатели и турбомашины

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026

Разработчик(и):
к.т.н., доцент  /А.В. Шабанов/

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 7
3.2. Тематический план изучения дисциплины 7
3.3. Содержание дисциплины 10
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 12
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 14
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 14
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 14
4.2. Основная литература 15
4.3. Дополнительная литература 15
4.4. Электронные образовательные ресурсы 16
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 16
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 16
5. Материально-техническое обеспечение 17
6. Методические рекомендации 18
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 18
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 19
7. Фонд оценочных средств 20
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 20
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 22
7.3 Оценочные средства 27

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся теоретических знаний и практических навыков в области планирования, организации и проведения испытаний поршневых двигателей и турбомашин, методов измерения и регистрации параметров, обработки и анализа экспериментальных данных, а также оценки соответствия полученных характеристик нормативным требованиям и расчётным данным на четвёртом этапе сквозного проектирования «Технологическая подготовка и экспериментальная верификация».

Задачами дисциплины являются:

- изучение видов, целей и задач испытаний поршневых двигателей и турбомашин на различных этапах жизненного цикла (доводочные, приёмочные, сертификационные, эксплуатационные);
- освоение методов измерения основных параметров двигателей (мощности, крутящего момента, расхода топлива и воздуха, температур, давлений, расходов масел и охлаждающей жидкости);
- формирование навыков работы с измерительным оборудованием (тормозными стендами, расходомерами, газоанализаторами, системами сбора данных);
- изучение методик определения индикаторных и эффективных показателей двигателей, построения нагрузочных и скоростных характеристик;
- приобретение навыков обработки результатов измерений, оценки погрешностей и статистического анализа экспериментальных данных;
- освоение методов определения экологических показателей (токсичности отработавших газов, дымности) в соответствии с действующими нормативными документами;
- изучение методов виброакустических испытаний и оценки шумовых характеристик двигателей;
- формирование умения разрабатывать программы и методики испытаний, оформлять протоколы и отчёты по результатам испытаний;
- изучение методов обработки и анализа данных для верификации расчётных моделей и уточнения конструктивных параметров.

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-3. Способен планировать и проводить экспериментальные исследования (испытания) поршневых двигателей, турбомашин и их компонентов, обрабатывать и анализировать полученные данные, формулировать выводы и технические рекомендации	**ИПК-3.1.** Способен разрабатывать программу и методику стендовых испытаний двигателя по заданным параметрам
	ИПК-3.2. Способен подбирать средства измерений для конкретных испытаний
	ИПК-3.3. Способен обрабатывать статистические данные испытаний, оценивать погрешность измерений
	ИПК-3.4. Способен разрабатывать программу и проводить испытания автомобиля на беговых барабанах по утверждённому циклу для определения соответствия нормам выбросов токсичных веществ
	ИПК-3.5. Способен обработать данные газоанализатора, выполнять отбор проб, рассчитывать массовые выбросы вредных веществ
	ИПК-3.6. Способен планировать и выполнять сравнительные эксперименты по оценке эффективности компонентов системы нейтрализации отработавших газов

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
	ИПК-3.7. Способен разработать план виброакустических испытаний силового агрегата на стенде
	ИПК-3.8. Способен обработать данные с акселерометров и микрофонов, строить спектры виброускорения и шума
	ИПК-3.9. Способен сравнивать результаты с нормативными уровнями, делать вывод о соответствии

Роль дисциплины в формировании компетенций:

Формирующая. Дисциплина является ключевой для четвёртого этапа сквозного проекта «Технологическая подготовка и экспериментальная верификация», обеспечивая экспериментальное подтверждение расчётных характеристик разработанного двигателя, проверку соответствия нормативным требованиям и получение данных для дальнейшей доводки конструкции. Студенты осваивают виды и цели испытаний, измерительное оборудование и средства измерений, методы обработки и анализа результатов, стендовое оборудование, методы определения мощностных, экономических, экологических и виброакустических показателей, методы испытаний систем и агрегатов двигателя, основы планирования эксперимента и оформления отчётной документации. Все индикаторы компетенции ПК-3 реализуются в полном объёме в ходе практических и лабораторных занятий, а также при выполнении индивидуального задания в рамках сквозного проекта.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин»** относится к **части блока Б.1, формируемой участниками образовательных отношений** учебного плана (код дисциплины: Б1.2.14) и изучается в **7-м семестре**.

Данная дисциплина является **ключевой для четвёртого этапа сквозного проекта «Технологическая подготовка и экспериментальная верификация»**, обеспечивая экспериментальное подтверждение расчётных характеристик разработанного двигателя, проверку соответствия нормативным требованиям и получение данных для дальнейшей доводки конструкции.

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

- **Физика** (школьный курс, а также дисциплина «Физика» (Б1.1.26.3, 2-3 семестры): знание основ механики, термодинамики, методов измерений необходимо для понимания физических принципов работы измерительной аппаратуры.
- **Термодинамика** (Б1.1.17, 3 семестр): знание термодинамических процессов необходимо для интерпретации результатов испытаний.
- **Теория рабочих процессов поршневых двигателей** (Б1.1.20, 4 семестр): понимание рабочих процессов позволяет корректно планировать испытания и анализировать их результаты.
- **Конструкция поршневых двигателей** (Б1.2.2, 2 семестр) и **Системы поршневых двигателей** (Б1.2.5, 5 семестр): знание конструкции необходимо для выбора точек измерения и монтажа датчиков.

- **Динамический расчет поршневых двигателей** (Б1.2.4, 5 семестр): знание динамических нагрузок необходимо для планирования тензометрических измерений.

- **Электротехника и электроника** (Б1.1.7, 4 семестр): знание основ электроники необходимо для работы с измерительными системами и датчиками.

- **Нормирование точности и метрология в энергетическом машиностроении** (Б1.1.14, 3 семестр): знание методов измерений и оценки погрешностей является основой для метрологически корректных испытаний.

- **Топлива и смазочные материалы энергетических установок** (Б1.1.18, 3-4 семестры): знание свойств топлив и масел необходимо для контроля их расхода и анализа влияния на характеристики.

- **Вычислительная гидрогазодинамика в проектировании и верификации двигателей** (Б1.1.19, 4-5 семестры) и **Расчет и оптимизация деталей двигателя** (Б1.2.9, 6 семестр): результаты расчётов верифицируются экспериментально в рамках данной дисциплины.

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

- **Экология и токсичность поршневых двигателей** (Б1.2.17, 7 семестр), изучаемая параллельно, дополняет знания в области экологических испытаний.

- **Диагностика и техническая эксплуатация поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.18, 8 семестр): методы испытаний используются для диагностики технического состояния в эксплуатации (V этап).

- **Сертификация силовых установок транспортных средств** (Б1.2.23, 8 семестр): результаты сертификационных испытаний являются основой для подтверждения соответствия требованиям (V этап).

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (Б3.1, 8 семестр): экспериментальная часть ВКР может базироваться на результатах испытаний, проведённых в рамках данной дисциплины

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
			7
1	Аудиторные занятия	72	72
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия	36	36
1.3	Лабораторные занятия	18	18
2	Самостоятельная работа	72	72
3	Промежуточная аттестация		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	Экзамен	Экзамен
	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 7	**Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин**						

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Тема 1. Введение. Виды и цели испытаний	8	4	2	2	–	4
2	Тема 2. Измерительное оборудование и средства измерений	14	8	2	4	2	6
3	Тема 3. Обработка и анализ результатов измерений	12	6	2	2	2	6
4	Тема 4. Стендовое оборудование для испытаний двигателей	16	8	2	4	2	8
5	Тема 5. Определение мощностных и экономических показателей	16	8	2	4	2	8
6	Тема 6. Определен	16	8	2	4	2	8

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	ие экологических показателей (токсичность, дымность)						
7	Тема 7. Определение виброакустических характеристик	14	8	2	4	2	6
8	Тема 8. Испытания систем и агрегатов двигателя	16	8	2	4	2	8
9	Тема 9. Планирование эксперимента и обработка данных	16	8	2	4	2	8
10	Тема 10. Подготовка отчёта по результатам испытаний	16	6	–	4	2	10

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	Итого за 1 семестр	**144**	**72**	**18**	**36**	**18**	**72**

3.3. Содержание дисциплины

Семестр 7. Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин

Тема 1. Введение. Виды и цели испытаний

Роль испытаний в жизненном цикле двигателя. Место дисциплины в сквозном проекте: четвёртый этап – экспериментальная верификация разработанного двигателя. Классификация испытаний по целям (приёмочные, периодические, типовые, сертификационные, научно-исследовательские), по этапам разработки (доводочные, приёмочные), по условиям проведения (стендовые, дорожные, эксплуатационные). Нормативные документы, регламентирующие проведение испытаний (ГОСТ 14846-2020, ГОСТ 10150-2014, Правила ЕЭК ООН).

Тема 2. Измерительное оборудование и средства измерений

Метрологическое обеспечение испытаний. Средства измерения неэлектрических величин. Измерение давления: манометры, датчики давления (тензометрические, пьезоэлектрические). Измерение температуры: термопары, термометры сопротивления. Измерение расхода: расходомеры (объёмные, массовые, турбинные), мерные баки. Измерение частоты вращения: тахометры, датчики частоты (индуктивные, оптические). Измерение крутящего момента: тормозные стенды (электрические, гидравлические), датчики момента (тензометрические). Измерение вибрации: акселерометры. Измерение шума: шумомеры, микрофоны. Измерение состава отработавших газов: газоанализаторы, дымомеры. Калибровка средств измерений. Связь с дисциплиной «Нормирование точности и метрология в энергетическом машиностроении» (Б1.1.14).

Тема 3. Обработка и анализ результатов измерений

Погрешности измерений: систематические, случайные, грубые. Методы оценки погрешностей. Статистическая обработка результатов измерений: определение среднего арифметического, среднеквадратичного отклонения, доверительного интервала. Критерии отбраковки грубых ошибок (критерий Граббса). Обработка результатов косвенных измерений. Построение графических зависимостей и их анализ. Оценка достоверности и точности полученных результатов. Использование методов математической статистики для обработки данных испытаний.

Тема 4. Стендовое оборудование для испытаний двигателей

Типы испытательных стендов: электродинамические, гидравлические, с балансирной машиной. Устройство и принцип работы тормозного стенда. Системы управления стендом. Системы подвода топлива, масла, охлаждающей жидкости. Системы отвода отработавших газов. Системы вентиляции и пожаротушения. Компьютеризированные измерительные системы. Программное обеспечение для сбора и обработки данных. Особенности стендов для испытаний газотурбинных двигателей.

Тема 5. Определение мощностных и экономических показателей

Методика проведения испытаний для снятия скоростных, нагрузочных и регулировочных характеристик. Определение эффективной мощности, крутящего момента, удельного эффективного расхода топлива. Расчёт индикаторных показателей (по результатам снятия индикаторных диаграмм). Построение внешней скоростной характеристики. Определение коэффициента приспособляемости. Особенности испытаний двигателей с наддувом.

Тема 6. Определение экологических показателей (токсичность, дымность)

Методы определения токсичности отработавших газов бензиновых двигателей: газоаналитическое оборудование, измерение содержания CO, CH, NOx, CO_2. Испытательные циклы (Евро). Методы определения дымности отработавших газов дизельных двигателей: измерение коэффициента дымности на режимах свободного ускорения, испытательные циклы. Аппаратура для измерения дымности (дымомеры). Определение массовых выбросов вредных веществ. Оценка соответствия экологическим нормам.

Тема 7. Определение виброакустических характеристик

Методы измерения внешнего и внутреннего шума двигателя. Условия проведения измерений (ГОСТ Р 53838-2010). Измерительная аппаратура. Обработка результатов измерений. Методы измерения вибрации двигателя. Точки установки датчиков. Анализ спектров вибрации. Определение уровней виброскорости, виброускорения, виброперемещения. Оценка соответствия нормативным требованиям.

Тема 8. Испытания систем и агрегатов двигателя

Методики испытаний топливной аппаратуры (ТНВД, форсунок) на стендах. Испытания масляных насосов на производительность и давление. Испытания насосов систем охлаждения. Испытания турбокомпрессоров на стендах. Испытания систем впуска и выпуска (гидравлическое сопротивление, герметичность). Испытания радиаторов и теплообменников. Испытания на холодный пуск. Испытания на ресурс.

Тема 9. Планирование эксперимента и обработка данных

Основы теории планирования эксперимента. Пассивный и активный эксперимент. Выбор варьируемых факторов и уровней их изменения. Построение плана эксперимента (полный факторный эксперимент, дробный факторный эксперимент). Построение математических моделей процесса (регрессионные модели). Оценка значимости коэффициентов регрессии. Проверка адекватности модели. Оптимизация параметров.

Тема 10. Подготовка отчёта по результатам испытаний

Структура и содержание отчёта по испытаниям. Оформление протоколов испытаний. Представление экспериментальных данных в виде таблиц и графиков. Формулирование выводов и технических рекомендаций по результатам испытаний. Оформление заключения о соответствии двигателя требованиям технического задания. Подготовка материалов для сертификации.

3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия 3.4.1. Семинарские/практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
1	Тема 1	Разработка программы и методики испытаний для заданного типа двигателя	2
2	Тема 2	Подбор средств измерений для конкретных испытаний (по заданию)	2
3	Тема 2	Расчёт погрешностей измерительных каналов	2
4	Тема 3	Статистическая обработка результатов измерений. Оценка погрешностей	2
5	Тема 4	Изучение устройства и принципа работы тормозного стенда	2
6	Тема 5	Обработка результатов испытаний для построения внешней скоростной характеристики	2
7	Тема 5	Расчёт индикаторных показателей по индикаторной диаграмме	2
8	Тема 6	Обработка данных газоанализатора. Расчёт массовых выбросов вредных веществ	2
9	Тема 6	Оценка соответствия экологическим нормам по результатам испытаний	2
10	Тема 7	Обработка данных с акселерометров и микрофонов. Построение спектров виброускорения и шума	2
11	Тема 7	Сравнение результатов с нормативными уровнями. Оценка соответствия	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
12	Тема 8	Разработка программы испытаний топливной аппаратуры	2
13	Тема 8	Разработка программы испытаний турбокомпрессора	2
14	Тема 9	Построение плана эксперимента (полный факторный эксперимент)	2
15	Тема 9	Построение регрессионной модели по результатам эксперимента	2
16	Тема 10	Оформление протокола испытания	2
17	Тема 10	Формулирование выводов и технических рекомендаций	2
18	Тема 1-10	Комплексная обработка результатов испытаний (по индивидуальному заданию)	2
	Итого		36

3.4.2. Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
1	Тема 2	Калибровка измерительных приборов (манометров, термопар, расходомеров)	2
2	Тема 3	Статистическая обработка результатов многократных измерений	2
3	Тема 4	Знакомство с устройством тормозного стенда. Пуск и остановка двигателя	2
4	Тема 5	Снятие внешней скоростной характеристики двигателя на стенде	2
5	Тема 5	Снятие нагрузочной характеристики двигателя	2
6	Тема 6	Определение токсичности отработавших газов бензинового двигателя	2
7	Тема 6	Определение дымности отработавших газов дизельного двигателя	2
8	Тема 7	Измерение уровня внешнего шума двигателя	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
9	Тема 8	Испытания топливной аппаратуры на стенде (дизельной)	2
	Итого		**18**

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены. Однако результаты освоения дисциплины используются при выполнении выпускной квалификационной работы**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. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. **ГОСТ 14846-2020 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний»**
2. *Статус: действует.*
3. Основной стандарт, устанавливающий методы стендовых испытаний автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Определяет номенклатуру измеряемых параметров, условия проведения испытаний, методы обработки результатов. Используется при разработке программ и методик испытаний, снятии скоростных и нагрузочных характеристик, определении мощностных и экономических показателей.

4. **ГОСТ 10150-2014 «Двигатели газотурбинные. Методы испытаний»**
5. *Статус: действует.*
6. Стандарт устанавливает методы испытаний газотурбинных двигателей. Определяет условия проведения испытаний, номенклатуру контролируемых параметров, методы измерения и обработки результатов. Используется при изучении методов испытаний турбомашин.
7. **ГОСТ Р 41.49-99 (Правила ЕЭК ООН № 49)** — Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе (СНГ), и транспортных средств, оснащенных этими двигателями, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ.
8. **ГОСТ Р 41.83-2004 (Правила ЕЭК ООН № 83)** — Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в отношении выбросов вредных веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей.
9. **ГОСТ Р 51832-2001** — Двигатели внутреннего сгорания с принудительным зажиганием, работающие на бензине, и автотранспортные средства полной массой более 3,5 т, оснащенные этими двигателями. Выбросы вредных веществ. Технические требования и методы испытаний.
10. **ГОСТ Р 53838-2010** — Шум внутренний и внешний транспортных средств. Методы измерения. Используется при изучении виброакустических испытаний.
11. **ГОСТ 8.417 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин»** — устанавливает единицы физических величин, применяемые при измерениях в процессе испытаний.
12. **ГОСТ Р 8.563 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений»** — устанавливает общие требования к методикам выполнения измерений, используемым при проведении испытаний.

4.2. Основная литература

13. Мокий, М. С. Методология научных исследований : учебник для вузов / М. С. Мокий, А. Л. Никифоров, В. С. Мокий ; под редакцией М. С. Мокия. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 254 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13313-4.
— Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/510937
14. Рачков, М. Ю. Измерительные устройства автомобильных систем / М. Ю. Рачков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 135 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08195-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/513711

4.3. Дополнительная литература

1. Брылев, А. А. Основы научно-исследовательской работы : учебник для вузов / А. А. Брылев, И. Н. Турчаева. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 206 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15861-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/509893
2. Рачков, М. Ю. Измерительные устройства автомобильных систем : учебное пособие для вузов / М. Ю. Рачков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 135 с.

— (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08195-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/513711
3.

4.4. Электронные образовательные ресурсы

1. Курс «Основы испытаний энергетических машин и установок» URL: **https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=9609**

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	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная

Наименование специальных помещений	Оснащённость специальных помещений
№ Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	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 (экзамена). Дисциплина «Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин» является формирующей для компетенции ПК-3, обеспечивая теоретические знания и практические навыки в области планирования, организации и проведения испытаний поршневых двигателей и турбомашин, методов измерения и регистрации параметров, обработки и анализа экспериментальных данных, а также оценки соответствия полученных характеристик нормативным требованиям и расчётным данным на четвёртом этапе сквозного проектирования «Технологическая подготовка и экспериментальная верификация».

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих компетенций и индикаторов:

ПК-3. Способен планировать и проводить экспериментальные исследования (испытания) поршневых двигателей, турбомашин и их компонентов, обрабатывать и анализировать полученные данные, формулировать выводы и технические рекомендации

Индикаторы достижения компетенции:

- **ИПК-3.1.** Способен разрабатывать программу и методику стендовых испытаний двигателя по заданным параметрам.
- **ИПК-3.2.** Способен подбирать средства измерений для конкретных испытаний.
- **ИПК-3.3.** Способен обрабатывать статистические данные испытаний, оценивать погрешность измерений.
- **ИПК-3.4.** Способен разрабатывать программу и проводить испытания автомобиля на беговых барабанах по утверждённому циклу для определения соответствия нормам выбросов токсичных веществ.
- **ИПК-3.5.** Способен обработать данные газоанализатора, выполнять отбор проб, рассчитывать массовые выбросы вредных веществ.
- **ИПК-3.6.** Способен планировать и выполнять сравнительные эксперименты по оценке эффективности компонентов системы нейтрализации отработавших газов.
- **ИПК-3.7.** Способен разработать план виброакустических испытаний силового агрегата на стенде.
- **ИПК-3.8.** Способен обработать данные с акселерометров и микрофонов, строить спектры виброускорения и шума.
- **ИПК-3.9.** Способен сравнивать результаты с нормативными уровнями, делать вывод о соответствии.

Дисциплина «Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин» является ключевой для четвёртого этапа сквозного проекта «Технологическая подготовка и экспериментальная верификация», обеспечивая экспериментальное подтверждение расчётных характеристик разработанного двигателя, проверку соответствия нормативным требованиям и получение данных для дальнейшей доводки конструкции. В ходе изучения дисциплины студент осваивает виды и цели испытаний, измерительное оборудование и средства измерений, методы обработки и анализа результатов, стендовое оборудование, методы определения мощностных,

экономических, экологических и виброакустических показателей, методы испытаний систем и агрегатов двигателя, основы планирования эксперимента и оформления отчётной документации.

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 видов и целей испытаний, измерительного оборудования, методов обработки результатов, стендового оборудования, методов определения показателей двигателя, методов экологических и виброакустических испытаний, методов планирования эксперимента. Результаты тестирования используются для оценки уровня освоения материала модуля и определения готовности студента к дальнейшему обучению. Проверяемые индикаторы: ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Устный опрос (собеседование)

Проводится в ходе практических занятий для проверки понимания студентом теоретического материала, способности аргументированно излагать методики испытаний, анализировать результаты, обосновывать выбор средств измерений, разрабатывать программы испытаний. 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 разрабатывать программу испытаний проектируемого двигателя. Проверяемые индикаторы: ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Практические занятия

В ходе выполнения практических заданий (разработка программы и методики испытаний, подбор средств измерений, расчёт погрешностей, статистическая обработка результатов, обработка данных газоанализатора, построение спектров виброускорения, разработка плана эксперимента, построение регрессионной модели, оформление протокола испытаний) 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 планирования и проведения испытаний, необходимых для выполнения четвёртого этапа сквозного проекта. Проверяемые индикаторы: ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Лабораторные занятия

В ходе выполнения лабораторных работ студент работает с измерительным оборудованием, тормозными стендами, газоанализаторами, шумомерами, акселерометрами, системами сбора данных. Проводятся работы по калибровке измерительных приборов, статистической обработке результатов, снятию внешних скоростных и нагрузочных характеристик, определению токсичности и дымности, измерению шума, испытаниям топливной аппаратуры и насосов. 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-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

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 планированием и проведением испытаний проектируемого двигателя. Содержание индивидуального задания включает разработку программы и методики испытаний, выбор средств измерений, разработку плана обработки

результатов, проведение расчёта ожидаемых погрешностей, разработку плана эксперимента (при необходимости), подготовку форм протоколов. Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объемом 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-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8 и ИПК-3.9.

Экзамен

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена по завершении изучения дисциплины. Экзамен позволяет комплексно оценить знания, умения и навыки студента по всем разделам дисциплины. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса (по основным разделам испытаний) и одно практическое задание (расчётная задача или обработка экспериментальных данных). Результаты экзамена определяют итоговую оценку по дисциплине и отражают степень сформированности знаний, необходимых для выполнения четвёртого этапа сквозного проекта «Технологическая подготовка и экспериментальная верификация». Проверяемые индикаторы: ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Роль дисциплины в оценке результатов сквозного проекта

Дисциплина «Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин» формирует фундаментальные знания и навыки, необходимые для выполнения четвёртого этапа сквозного проекта — «Технологическая подготовка и экспериментальная верификация». В рамках этого этапа студент должен разработать программу испытаний проектируемого двигателя, выбрать средства измерений, спланировать обработку результатов, оценить ожидаемые погрешности. Результаты освоения дисциплины оцениваются в ходе защиты индивидуального задания и отчёта по четвёртому этапу сквозного проекта. Оценка сформированности компетенции ПК-3 по дисциплине учитывается при подведении итогов выполнения сквозного проекта в целом.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1 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 планирования испытаний, знает измерительное оборудование, умеет обрабатывать результаты, понимает методики определения показателей двигателя. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне индикаторов ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8 и ИПК-3.9 в части теоретических основ испытаний.

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 выборе средств измерений, не может обработать результаты испытаний, не знает методов определения показателей. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

7.2.2 Критерии оценки итогового тестирования по курсу

Итоговое тестирование проводится после завершения изучения всех модулей. Тест состоит из 30 заданий, охватывающих весь материал дисциплины. Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов — 30.

Оценка «отлично» выставляется студенту, набравшему от 29 до 30 баллов (97-100% правильных ответов). Студент демонстрирует системные теоретические знания по всем разделам дисциплины, уверенно разрабатывает программы испытаний, выбирает средства измерений, обрабатывает результаты, анализирует погрешности, оценивает соответствие нормативным требованиям. Сформированность индикаторов ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8 и ИПК-3.9 оценивается на продвинутом уровне, что позволяет студенту успешно выполнить раздел сквозного проекта, связанный с планированием испытаний.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, набравшему от 24 до 28 баллов (80-97% правильных ответов). Студент в целом демонстрирует системные теоретические знания, владеет большинством терминов, но допускает отдельные неточности в сложных вопросах, связанных с планированием эксперимента или обработкой результатов косвенных измерений. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне, достаточном для выполнения сквозного проекта.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, набравшему от 18 до 23 баллов (60-80% правильных ответов). Студент демонстрирует знание основного материала, но допускает ошибки в деталях, испытывает затруднения при расчёте погрешностей или обработке данных газоанализатора, не в полной мере владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне, что требует дополнительной работы для успешного выполнения сквозного проекта.

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

7.2.3 Критерии оценки устного опроса (собеседования)

Оценка «отлично» выставляется студенту, который глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе и логически стройно его излагает. Студент демонстрирует полное знание видов и целей испытаний, измерительного оборудования, методов обработки результатов, стендового оборудования, методов определения показателей двигателя, методов экологических и виброакустических испытаний, методов планирования эксперимента. Уверенно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. В контексте сквозного проекта такой уровень подготовки позволяет студенту самостоятельно разрабатывать программу испытаний проектируемого двигателя.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей. Студент владеет основными понятиями и методами, умеет решать типовые задачи, но может испытывать затруднения при ответе на уточняющие вопросы или при объяснении сложных разделов (например, планирование эксперимента). В целом демонстрирует хорошее владение профессиональной терминологией.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей. Студент допускает неточности и ошибки в изложении, испытывает затруднения при выборе средств измерений, обладает фрагментарными знаниями. Ответы на дополнительные вопросы даются с трудом, требуют наводящих вопросов. Профессиональная терминология используется недостаточно уверенно.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, допускает грубые ошибки в изложении, не может разработать программу

испытаний. Отсутствует понимание метрологического обеспечения испытаний. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Студент не готов к выполнению раздела сквозного проекта по планированию испытаний.

7.2.4 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 разработки программ испытаний, подбора средств измерений, обработки результатов, оценки погрешностей. 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 планирования испытаний, необходимыми для выполнения четвёртого этапа сквозного проекта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил практическое задание, выполнил его не в полном объеме, 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.

7.2.5 Критерии оценки лабораторных работ

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил лабораторную работу в полном объеме, в установленные сроки. Студент продемонстрировал умение работать с измерительным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, оценивать погрешности, анализировать характеристики. При защите работы студент показывает понимание цели и методики проведения работы, уверенно отвечает на контрольные вопросы, правильно интерпретирует полученные результаты. Отчет оформлен в соответствии с требованиями. Успешное выполнение лабораторных работ позволяет студенту получить практический опыт, необходимый для проведения испытаний в рамках сквозного проекта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил лабораторную работу, выполнил ее не в полном объеме, 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 отчет или он оформлен с грубыми нарушениями требований. Студент обязан выполнить лабораторную работу повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.6 Критерии оценки индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Оценка «отлично» выставляется студенту, который полностью выполнил индивидуальное задание в соответствии с требованиями. Студент демонстрирует глубокое понимание методов планирования и проведения испытаний, самостоятельно разрабатывает программу и методику испытаний, обосновывает выбор средств измерений, разрабатывает план обработки результатов, оценивает ожидаемые погрешности, разрабатывает план эксперимента (при необходимости). Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, содержит все необходимые расчёты и графические материалы. При защите студент свободно владеет материалом, аргументированно отвечает на вопросы, демонстрирует понимание метрологического обеспечения испытаний. Сформированность индикаторов ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8 и ИПК-3.9 оценивается на продвинутом уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание в полном объеме, но допускает отдельные неточности в разработке программы испытаний или неполноту в обосновании выбора средств измерений. Студент демонстрирует понимание

методов планирования испытаний, способен выполнять основные этапы, но может испытывать затруднения при оценке погрешностей. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, но содержит незначительные замечания. При защите студент в целом отвечает на вопросы, но может допускать неточности. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание, но допустил существенные ошибки в разработке программы испытаний или не полностью выполнил требуемые разделы. Студент демонстрирует фрагментарные знания методов планирования испытаний, испытывает значительные затруднения при выборе средств измерений. Пояснительная записка оформлена с нарушениями требований. При защите студент отвечает на вопросы неуверенно, требует наводящих вопросов. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не выполнил индивидуальное задание, выполнил его не в полном объеме или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания методов планирования испытаний, не может разработать программу испытаний. 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.

7.2.7 Критерии оценки ответа на экзамене

Оценка «отлично» выставляется студенту, который глубоко и прочно усвоил программный материал по всем разделам, исчерпывающе и логически стройно излагает ответы на теоретические вопросы. Студент демонстрирует полное знание видов и целей испытаний, измерительного оборудования, методов обработки результатов, стендового оборудования, методов определения показателей двигателя, методов экологических и виброакустических испытаний, методов планирования эксперимента. Уверенно и без ошибок выполнит практическое задание (расчётную задачу или обработку данных), аргументирует последовательность решения, делает обоснованные выводы. Дает полные ответы на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов ИПК-3.1, ИПК-3.2, ИПК-3.3, ИПК-3.4, ИПК-3.5, ИПК-3.6, ИПК-3.7, ИПК-3.8 и ИПК-3.9 оценивается на продвинутом уровне, что подтверждает готовность студента к выполнению четвёртого этапа сквозного проекта.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает ответы на теоретические вопросы, не допуская существенных неточностей. Студент владеет основными понятиями и методами, умеет решать типовые задачи. Выполняет практическое задание в целом правильно, но может испытывать затруднения при обосновании отдельных этапов. На дополнительные вопросы отвечает в целом правильно, но допускает несущественные ошибки. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, допускает неточности и ошибки в изложении теоретических вопросов. Студент обладает фрагментарными знаниями по отдельным разделам. Выполняет практическое задание с помощью наводящих вопросов или допускает ошибки в расчётах. Ответы на дополнительные вопросы даются с трудом, профессиональная терминология используется недостаточно уверенно. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает грубые ошибки в изложении теоретических вопросов.

Студент не может выполнить практическое задание или выполняет его с грубыми ошибками, не понимает сути задания. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение четвёртого этапа сквозного проекта.

7.2.8 Соответствие методов контроля проверяемым индикаторам компетенций

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность знаний и навыков, необходимых для освоения индикаторов компетенции ПК-3. Дисциплина является формирующей для указанной компетенции.

ИПК-3.1. Способен разрабатывать программу и методику стендовых испытаний двигателя по заданным параметрам. Формируется через разработку программ испытаний, определение режимов, точек измерения. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, экзамен.

ИПК-3.2. Способен подбирать средства измерений для конкретных испытаний. Формируется через выбор датчиков, приборов, систем сбора данных. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, лабораторные работы, индивидуальное задание, экзамен.

ИПК-3.3. Способен обрабатывать статистические данные испытаний, оценивать погрешность измерений. Формируется через методы обработки результатов, оценку погрешностей, статистический анализ. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, лабораторные работы, индивидуальное задание, экзамен.

ИПК-3.4. Способен разрабатывать программу и проводить испытания автомобиля на беговых барабанах по утверждённому циклу. Формируется через изучение ездовых циклов, методик испытаний. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, экзамен.

ИПК-3.5. Способен обработать данные газоанализатора, выполнять отбор проб, рассчитывать массовые выбросы вредных веществ. Формируется через изучение газоанализаторов, методов отбора проб, расчёта выбросов. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, лабораторные работы, индивидуальное задание, экзамен.

ИПК-3.6. Способен планировать и выполнять сравнительные эксперименты по оценке эффективности компонентов системы нейтрализации. Формируется через планирование экспериментов, сравнительный анализ. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, экзамен.

ИПК-3.7. Способен разработать план виброакустических испытаний силового агрегата на стенде. Формируется через разработку планов испытаний, выбор точек установки датчиков, режимов. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, экзамен.

ИПК-3.8. Способен обработать данные с акселерометров и микрофонов, строить спектры виброускорения и шума. Формируется через обработку сигналов, спектральный анализ. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, лабораторные работы, индивидуальное задание, экзамен.

ИПК-3.9. Способен сравнивать результаты с нормативными уровнями, делать вывод о соответствии. Формируется через изучение нормативной базы, оценку соответствия. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, экзамен.

Оценка сформированности знаний и навыков осуществляется комплексно с использованием всех методов контроля. Результаты текущего и итогового тестирования, устных опросов, выполнения практических и лабораторных работ, защиты индивидуального задания в рамках сквозного проекта, а также экзамена учитываются при формировании итоговой оценки по дисциплине и оценке выполнения четвёртого этапа сквозного проекта. Дисциплина «Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин» закладывает содержательную основу для последующего формирования компетенций на этапах технологической подготовки и экспериментальной верификации, обеспечивая студента знаниями и навыками, необходимыми для планирования и проведения испытаний, обработки результатов, оценки соответствия нормативным требованиям.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

Модульная структура дисциплины

Дисциплина изучается в 7-м семестре. Семестр делится на два равных модуля (периода), каждый из которых включает определенные темы.

Модуль 1 (недели 1–8) — Основы испытаний. Измерительное оборудование. Определение мощностных и экономических показателей

Включает темы: Тема 1. Введение. Виды и цели испытаний; Тема 2. Измерительное оборудование и средства измерений; Тема 3. Обработка и анализ результатов измерений; Тема 4. Стендовое оборудование для испытаний двигателей; Тема 5. Определение мощностных и экономических показателей.

Модуль 2 (недели 9–16) — Экологические и виброакустические испытания. Испытания систем. Планирование эксперимента

Включает темы: Тема 6. Определение экологических показателей (токсичность, дымность); Тема 7. Определение виброакустических характеристик; Тема 8. Испытания систем и агрегатов двигателя; Тема 9. Планирование эксперимента и обработка данных; Тема 10. Подготовка отчёта по результатам испытаний.

Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)

Модуль 1. Основы испытаний. Измерительное оборудование. Определение мощностных и экономических показателей

Перечень вопросов для собеседования:

1. Роль испытаний в жизненном цикле двигателя. Место дисциплины в сквозном проекте: четвёртый этап — экспериментальная верификация разработанного двигателя.
2. Классификация испытаний по целям (приёмочные, периодические, типовые, сертификационные, научно-исследовательские), по этапам разработки (доводочные, приёмочные), по условиям проведения (стендовые, дорожные, эксплуатационные).
3. Нормативные документы, регламентирующие проведение испытаний (ГОСТ 14846-2020, ГОСТ 10150-2014, Правила ЕЭК ООН).
4. Метрологическое обеспечение испытаний. Средства измерения неэлектрических величин.

5. Измерение давления: манометры, датчики давления (тензометрические, пьезоэлектрические). Измерение температуры: термопары, термометры сопротивления.

6. Измерение расхода: расходомеры (объёмные, массовые, турбинные), мерные баки. Измерение частоты вращения: тахометры, датчики частоты (индуктивные, оптические).

7. Измерение крутящего момента: тормозные стенды (электрические, гидравлические), датчики момента (тензометрические). Измерение вибрации: акселерометры.

8. Измерение шума: шумомеры, микрофоны. Измерение состава отработавших газов: газоанализаторы, дымомеры. Калибровка средств измерений.

9. Погрешности измерений: систематические, случайные, грубые. Методы оценки погрешностей.

10. Статистическая обработка результатов измерений: определение среднего арифметического, среднеквадратичного отклонения, доверительного интервала.

11. Критерии отбраковки грубых ошибок (критерий Граббса). Обработка результатов косвенных измерений.

12. Типы испытательных стендов: электродинамические, гидравлические, с балансирной машиной. Устройство и принцип работы тормозного стенда.

13. Системы управления стендом. Системы подвода топлива, масла, охлаждающей жидкости. Системы отвода отработавших газов.

14. Компьютеризированные измерительные системы. Программное обеспечение для сбора и обработки данных.

15. Методика проведения испытаний для снятия скоростных, нагрузочных и регулировочных характеристик.

16. Определение эффективной мощности, крутящего момента, удельного эффективного расхода топлива. Расчёт индикаторных показателей (по результатам снятия индикаторных диаграмм).

17. Построение внешней скоростной характеристики. Определение коэффициента приспособляемости.

Модуль 2. Экологические и виброакустические испытания. Испытания систем. Планирование эксперимента

Перечень вопросов для собеседования:

1. Методы определения токсичности отработавших газов бензиновых двигателей: газоаналитическое оборудование, измерение содержания CO, CH, NOx, CO_2.

2. Испытательные циклы (Евро). Методы определения дымности отработавших газов дизельных двигателей: измерение коэффициента дымности на режимах свободного ускорения.

3. Аппаратура для измерения дымности (дымомеры). Определение массовых выбросов вредных веществ. Оценка соответствия экологическим нормам.

4. Методы измерения внешнего и внутреннего шума двигателя. Условия проведения измерений (ГОСТ Р 53838-2010). Измерительная аппаратура.

5. Методы измерения вибрации двигателя. Точки установки датчиков. Анализ спектров вибрации. Определение уровней виброскорости, виброускорения, виброперемещения.

6. Методики испытаний топливной аппаратуры (ТНВД, форсунок) на стендах. Испытания масляных насосов на производительность и давление.

7. Испытания насосов систем охлаждения. Испытания турбокомпрессоров на стендах. Испытания систем впуска и выпуска (гидравлическое сопротивление, герметичность).

8. Испытания радиаторов и теплообменников. Испытания на холодный пуск. Испытания на ресурс.

9. Основы теории планирования эксперимента. Пассивный и активный эксперимент. Выбор варьируемых факторов и уровней их изменения.

10. Построение плана эксперимента (полный факторный эксперимент, дробный факторный эксперимент). Построение математических моделей процесса (регрессионные модели).

11. Оценка значимости коэффициентов регрессии. Проверка адекватности модели. Оптимизация параметров.

12. Структура и содержание отчёта по испытаниям. Оформление протоколов испытаний. Представление экспериментальных данных в виде таблиц и графиков.

13. Формулирование выводов и технических рекомендаций по результатам испытаний. Оформление заключения о соответствии двигателя требованиям технического задания.

7.3.1.3 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 испытаний проводится для подтверждения соответствия двигателя требованиям технического регламента?**
2. A) Доводочные испытания
3. B) Приёмочные испытания
4. C) Сертификационные испытания
5. D) Периодические испытания

Правильный ответ: C

6. **Какой прибор используется для измерения крутящего момента двигателя на стенде?**
7. A) Тахометр
8. B) Манометр
9. C) Тормозной стенд
10. D) Расходомер

Правильный ответ: C

11. **Какой параметр характеризует неравномерность хода двигателя?**
12. A) Коэффициент приспособляемости
13. B) Степень неравномерности частоты вращения δ
14. C) Механический КПД
15. D) Литровая мощность

Правильный ответ: B

16. **Какой метод определения дымности отработавших газов применяется для дизельных двигателей?**

17. A) Газоанализ

18. B) Измерение коэффициента дымности на режиме свободного ускорения

19. C) Хроматография

20. D) Спектрофотометрия

Правильный ответ: B

21. **Какой критерий используется для проверки адекватности регрессионной модели?**

22. A) Критерий Стьюдента

23. B) Критерий Фишера

24. C) Критерий Граббса

25. D) Критерий Пирсона

Правильный ответ: B

7.3.1.4 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 планированием и проведением испытаний проектируемого двигателя.

Содержание индивидуального задания:

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Разработка программы и методики испытаний.** На основе заданных параметров проектируемого двигателя студент разрабатывает программу испытаний. Определяет цели испытаний, виды испытаний, объём испытаний. Разрабатывает методику проведения испытаний: режимы нагружения, точки измерения, количество измерений.

2. **Выбор средств измерений.** Для каждого измеряемого параметра (мощность, крутящий момент, расход топлива, давление, температура, состав отработавших газов и др.) студент выбирает средства измерений. Обосновывает выбор с учётом требуемой точности, диапазона измерений, условий эксплуатации.

3. **Разработка плана обработки результатов.** Определяются методы обработки экспериментальных данных. Разрабатываются формы протоколов испытаний. Определяются методы оценки погрешностей.

4. **Расчёт ожидаемых погрешностей.** Выполняется расчёт ожидаемых погрешностей измерений для основных параметров. Оценивается суммарная погрешность определения эффективной мощности, удельного расхода топлива.

5. **Разработка плана эксперимента (при необходимости).** Для оптимизации параметров двигателя или оценки влияния факторов разрабатывается план активного эксперимента. Выбираются варьируемые факторы, уровни их изменения. Определяется количество опытов.

6. **Подготовка отчётной документации.** Разрабатываются формы протоколов испытаний. Составляется макет отчёта по результатам испытаний.

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 испытаний;
- основную часть, содержащую программу и методику испытаний, выбор средств измерений, план обработки результатов, расчёт погрешностей, план эксперимента;
- формы протоколов;
- заключение с выводами по результатам выполненной работы;
- список использованных источников.

Примерные темы индивидуальных заданий:

1. Разработка программы и методики стендовых испытаний бензинового двигателя.
2. Разработка программы и методики стендовых испытаний дизельного двигателя.
3. Выбор средств измерений для испытаний двигателя и оценка погрешностей.
4. Разработка плана эксперимента для оптимизации состава смеси бензинового двигателя.
5. Разработка методики обработки результатов испытаний для построения внешней скоростной характеристики.
6. Разработка программы экологических испытаний двигателя по циклу WLTC.
7. Разработка плана виброакустических испытаний силового агрегата.

7.3.1.5 Оценочные средства для практических занятий

Типовые задания для практических занятий

Модуль 1. Основы испытаний. Измерительное оборудование. Определение мощностных и экономических показателей

Задание 1. Разработка программы и методики испытаний для заданного типа двигателя

Для заданного типа двигателя (бензиновый, дизельный) разработать программу и методику испытаний. Определить цели, виды, объём испытаний. Описать режимы нагружения, точки измерения.

Задание 2. Подбор средств измерений для конкретных испытаний (по заданию)

Для заданных параметров испытаний (диапазон измерений, требуемая точность) подобрать средства измерений (датчики, приборы). Обосновать выбор.

Задание 3. Расчёт погрешностей измерительных каналов

Для заданного измерительного канала (температура, давление, расход) рассчитать суммарную погрешность измерения с учётом погрешности датчика, АЦП, условий окружающей среды.

Задание 4. Статистическая обработка результатов многократных измерений. Оценка погрешностей

По заданным результатам многократных измерений (10-15 значений) вычислить среднее арифметическое, среднеквадратичное отклонение, доверительный интервал. Определить наличие грубых погрешностей по критерию Граббса.

Задание 5. Изучение устройства и принципа работы тормозного стенда

Ознакомиться с устройством тормозного стенда. Описать принцип работы, системы управления, систему сбора данных.

Задание 6. Обработка результатов испытаний для построения внешней скоростной характеристики

По заданным экспериментальным данным (частота вращения, эффективная мощность, крутящий момент, расход топлива) построить внешнюю скоростную характеристику. Определить коэффициент приспособляемости.

Задание 7. Расчёт индикаторных показателей по индикаторной диаграмме

По заданной индикаторной диаграмме (p-V) определить среднее индикаторное давление, индикаторную мощность, индикаторный КПД.

Модуль 2. Экологические и виброакустические испытания. Испытания систем. Планирование эксперимента

Задание 8. Обработка данных газоанализатора. Расчёт массовых выбросов вредных веществ

По заданным данным газоанализатора (концентрации CO, CH, NOx) и расходу отработавших газов рассчитать массовые выбросы вредных веществ. Оценить соответствие нормам Евро.

Задание 9. Оценка соответствия экологическим нормам по результатам испытаний

По заданным результатам испытаний (массовые выбросы) определить экологический класс двигателя. Сделать вывод о соответствии нормативным требованиям.

Задание 10. Обработка данных с акселерометров и микрофонов. Построение спектров виброускорения и шума

По заданным временным реализациям сигналов вибрации и шума построить спектры виброускорения и шума. Определить доминирующие частотные составляющие.

Задание 11. Сравнение результатов с нормативными уровнями. Оценка соответствия

По заданным результатам измерений внешнего шума автомобиля оценить соответствие требованиям Правил ЕЭК ООН №51-02. Сделать вывод.

Задание 12. Разработка программы испытаний топливной аппаратуры

Для заданного типа топливной аппаратуры (ТНВД, форсунки Common Rail) разработать программу испытаний. Определить контролируемые параметры, режимы испытаний.

Задание 13. Разработка программы испытаний турбокомпрессора

Для заданного турбокомпрессора разработать программу испытаний. Определить контролируемые параметры (расход, давление, температура, частота вращения), режимы испытаний.

Задание 14. Построение плана эксперимента (полный факторный эксперимент)

Для заданных факторов (два фактора на двух уровнях) построить матрицу планирования полного факторного эксперимента. Определить количество опытов.

Задание 15. Построение регрессионной модели по результатам эксперимента

По заданным результатам эксперимента (матрица планирования, отклик) построить регрессионную модель. Оценить значимость коэффициентов.

Задание 16. Оформление протокола испытания

По заданным результатам испытаний оформить протокол испытания в соответствии с требованиями.

Задание 17. Формулирование выводов и технических рекомендаций

По заданным результатам испытаний сформулировать выводы и технические рекомендации.

Задание 18. Комплексная обработка результатов испытаний (по индивидуальному заданию)

Выполнить комплексную обработку результатов испытаний двигателя: построить внешнюю скоростную характеристику, определить экономические и экологические показатели, оценить соответствие нормативным требованиям.

7.3.1.6 Оценочные средства для лабораторных занятий

Перечень лабораторных работ и контрольные вопросы для защиты

Лабораторная работа №1. Калибровка измерительных приборов (манометров, термопар, расходомеров)

Краткое содержание: изучение методов калибровки измерительных приборов. Проведение калибровки манометра грузопоршневым калибратором, термопары по эталонному термометру, расходомера по мерному баку. Построение калибровочных кривых.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое калибровка средства измерений?
- Как выполняется калибровка манометра?
- Как выполняется калибровка термопары?
- Как определяется погрешность калибровки?

Лабораторная работа №2. Статистическая обработка результатов многократных измерений

Краткое содержание: проведение многократных измерений (не менее 10) одного и того же параметра (давление, температура). Вычисление среднего арифметического, среднеквадратичного отклонения, доверительного интервала. Определение грубых погрешностей. Оценка погрешности измерения.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие виды погрешностей измерений существуют?
- Как определяется наличие грубой погрешности?
- Что такое доверительная вероятность и доверительный интервал?
- Как оценивается погрешность косвенных измерений?

Лабораторная работа №3. Знакомство с устройством тормозного стенда. Пуск и остановка двигателя

Краткое содержание: изучение устройства тормозного стенда (электрического или гидравлического). Ознакомление с системами управления, системами подвода топлива, масла, охлаждающей жидкости. Выполнение пуска и остановки двигателя.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как устроен тормозной стенд?
- Какие системы обеспечивают работу стенда?
- Как выполняется пуск двигателя на стенде?
- Каковы правила техники безопасности при работе на стенде?

Лабораторная работа №4. Снятие внешней скоростной характеристики двигателя на стенде

Краткое содержание: проведение испытаний двигателя на стенде. Измерение частоты вращения, крутящего момента, расхода топлива на различных режимах. Построение внешней скоростной характеристики.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое внешняя скоростная характеристика?
- Как изменяется крутящий момент с увеличением частоты вращения?
- Как изменяется мощность с увеличением частоты вращения?
- Что такое коэффициент приспособляемости?

Лабораторная работа №5. Снятие нагрузочной характеристики двигателя

Краткое содержание: проведение испытаний двигателя на стенде при постоянной частоте вращения. Изменение нагрузки, измерение расхода топлива. Построение нагрузочной характеристики.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое нагрузочная характеристика?
- Как изменяется удельный расход топлива с изменением нагрузки?
- Почему на холостом ходу удельный расход топлива высокий?
- Как нагрузка влияет на токсичность?

Лабораторная работа №6. Определение токсичности отработавших газов бензинового двигателя

Краткое содержание: подключение газоанализатора, отбор проб отработавших газов. Измерение содержания CO, CH, NOx, CO_2 на различных режимах работы двигателя. Оценка состава смеси.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие токсичные компоненты содержатся в отработавших газах бензинового двигателя?
- Как влияет состав смеси на содержание CO?
- Как влияет состав смеси на содержание NOx?
- Каковы принципы работы газоанализатора?

Лабораторная работа №7. Определение дымности отработавших газов дизельного двигателя

Краткое содержание: подключение дымомера, отбор проб отработавших газов. Измерение коэффициента дымности на режиме свободного ускорения. Оценка технического состояния двигателя по дымности.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое дымность отработавших газов?
- Как влияет цетановое число на дымность?
- Как проводится измерение дымности на режиме свободного ускорения?
- Каковы допустимые значения дымности?

Лабораторная работа №8. Измерение уровня внешнего шума двигателя

Краткое содержание: установка микрофона, проведение измерений уровня шума на различных режимах работы двигателя. Оценка соответствия нормативным требованиям.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как измеряется внешний шум двигателя?
- Какие требования предъявляются к условиям проведения измерений?
- Какие частотные коррекции используются?
- Каковы допустимые уровни внешнего шума?

Лабораторная работа №9. Испытания топливной аппаратуры на стенде (дизельной)

Краткое содержание: установка ТНВД или форсунок на стенд. Проведение испытаний: определение цикловой подачи, неравномерности подачи по цилиндрам, давления начала впрыска. Анализ результатов.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие параметры контролируются при испытаниях ТНВД?
- Как определяется цикловая подача?
- Как определяется неравномерность подачи по цилиндрам?
- Как регулируется давление начала впрыска форсунок?

Лабораторная работа №10. Испытания масляного насоса на производительность

Краткое содержание: установка масляного насоса на стенд. Проведение испытаний: измерение производительности при различных частотах вращения и давлениях. Построение характеристики насоса.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как определяется производительность масляного насоса?
- Как влияет частота вращения на производительность?
- Как влияет давление на производительность?
- Каковы признаки неисправности масляного насоса?

Лабораторная работа №11. Испытания водяного насоса

Краткое содержание: установка водяного насоса на стенд. Проведение испытаний: измерение производительности при различных частотах вращения и давлениях. Построение характеристики насоса.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как устроен водяной насос?
- Как определяется производительность водяного насоса?
- Как проверяется герметичность насоса?
- Каковы признаки неисправности водяного насоса?

Лабораторная работа №12. Проведение эксперимента по плану (полный факторный эксперимент)

Краткое содержание: реализация плана полного факторного эксперимента (2^2 или 2^3). Измерение отклика (мощность, расход топлива) для всех комбинаций факторов. Построение регрессионной модели. Оценка значимости коэффициентов.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое полный факторный эксперимент?
- Как строится матрица планирования?
- Как оценивается значимость коэффициентов регрессии?
- Как проверяется адекватность модели?

7.3.1.7 Оценочные средства для курсовой работы (проекта)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены учебным планом. Результаты освоения дисциплины используются при выполнении выпускной квалификационной работы для разработки программы испытаний, проведения экспериментальных исследований и анализа полученных результатов.

7.3.2 Промежуточная аттестация (экзамен)

7.3.2.1 Условия допуска к экзамену

Студент допускается к сдаче экзамена 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 (12 лабораторных работ).

●Выполнение и защита всех практических занятий (не менее 80% заданий выполнены и защищены).

●Выполнение и защита индивидуального задания в рамках сквозного проекта (разработка программы испытаний) с оценкой не ниже «удовлетворительно».

●Отсутствие академической задолженности по дисциплине.

7.3.2.2 Структура экзаменационного билета

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов (по одному из каждого модуля) и одного практического задания (расчётная задача или обработка экспериментальных данных).

Структура билета:

●**Вопрос 1** (Модуль 1): Основы испытаний, измерительное оборудование, обработка результатов, определение мощностных и экономических показателей.

●**Вопрос 2** (Модуль 2): Экологические и виброакустические испытания, испытания систем, планирование эксперимента.

●**Задание 3**: Расчётная задача или обработка экспериментальных данных (расчёт погрешностей, обработка результатов, построение характеристики, расчёт выбросов, построение регрессионной модели).

7.3.2.3 Типовые экзаменационные билеты

Экзаменационный билет №1

Вопрос 1 (Модуль 1)

Метрологическое обеспечение испытаний. Средства измерения давления, температуры, расхода. Погрешности измерений: классификация, методы оценки. Обработка результатов прямых и косвенных измерений.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Методы определения экологических показателей двигателей. Газоаналитическое оборудование. Испытательные циклы (NEDC, WLTC). Определение массовых выбросов вредных веществ. Оценка соответствия нормам Евро.

Задание 3

При многократном измерении давления масла получены следующие значения (МПа): 0,42; 0,43; 0,41; 0,44; 0,42; 0,43; 0,41; 0,42; 0,45; 0,42. Вычислить среднее арифметическое значение, среднеквадратичное отклонение. Определить наличие грубой погрешности по критерию Граббса. Записать результат измерения с указанием доверительной вероятности 0,95.

Экзаменационный билет №2

Вопрос 1 (Модуль 1)

Стендовое оборудование для испытаний двигателей. Типы тормозных стендов, их устройство и принцип работы. Системы управления, подвода топлива, масла, охлаждающей жидкости. Компьютеризированные измерительные системы.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Методы измерения вибрации и шума двигателей. Измерительная аппаратура (акселерометры, шумомеры). Условия проведения измерений. Обработка и анализ спектров вибрации и шума. Оценка соответствия нормативным требованиям.

Задание 3

По результатам испытаний двигателя получены следующие значения: при частоте вращения n = 3000 об/мин эффективная мощность Ne = 80 кВт, крутящий момент Мк = 250 Н·м, часовой расход топлива Gт = 20 кг/ч. Определить удельный эффективный расход топлива ge и эффективный КПД ηe. Теплота сгорания топлива Qн = 42500 кДж/кг.

Экзаменационный билет №3

Вопрос 1 (Модуль 1)

Методика проведения испытаний для снятия скоростных характеристик двигателя. Определение эффективной мощности, крутящего момента, удельного эффективного расхода топлива. Построение внешней скоростной характеристики. Коэффициент приспособляемости.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Планирование эксперимента. Пассивный и активный эксперимент. Полный факторный эксперимент. Построение матрицы планирования. Регрессионные модели. Оценка значимости коэффициентов. Проверка адекватности модели.

Задание 3

Для бензинового двигателя при испытаниях получены значения концентрации CO = 0,5% об., CH = 200 ppm, NOx = 800 ppm. Расход отработавших газов Gог = 0,1 кг/с. Рассчитать массовые выбросы CO и CH в г/с. Плотность CO = 1,25 кг/м³, CH = 0,67 кг/м³. Сделать вывод о соответствии нормам (норма CO — 1,0 г/км, CH — 0,1 г/км — для сравнения требуется знание пробега).

7.3.2.4 Полный перечень теоретических вопросов к экзамену по каждой теме

Модуль 1. Основы испытаний. Измерительное оборудование. Определение мощностных и экономических показателей

1. Роль испытаний в жизненном цикле двигателя. Место дисциплины в сквозном проекте: четвёртый этап — экспериментальная верификация.
2. Классификация испытаний по целям, этапам разработки, условиям проведения. Нормативные документы (ГОСТ 14846-2020, ГОСТ 10150-2014, Правила ЕЭК ООН).
3. Метрологическое обеспечение испытаний. Средства измерения неэлектрических величин.
4. Измерение давления: манометры, датчики давления (тензометрические, пьезоэлектрические).
5. Измерение температуры: термопары, термометры сопротивления.
6. Измерение расхода: расходомеры (объёмные, массовые, турбинные), мерные баки.
7. Измерение частоты вращения: тахометры, датчики частоты (индуктивные, оптические).
8. Измерение крутящего момента: тормозные стенды, датчики момента.
9. Измерение вибрации и шума: акселерометры, шумомеры, микрофоны.
10. Измерение состава отработавших газов: газоанализаторы, дымомеры. Калибровка средств измерений.

11. Погрешности измерений: классификация (систематические, случайные, грубые). Методы оценки погрешностей.

12. Статистическая обработка результатов измерений: определение среднего арифметического, среднеквадратичного отклонения, доверительного интервала.

13. Критерии отбраковки грубых ошибок (критерий Граббса). Обработка результатов косвенных измерений.

14. Типы испытательных стендов: электродинамические, гидравлические, с балансирной машиной. Устройство и принцип работы тормозного стенда.

15. Системы управления стендом. Системы подвода топлива, масла, охлаждающей жидкости. Системы отвода отработавших газов.

16. Компьютеризированные измерительные системы. Программное обеспечение для сбора и обработки данных.

17. Методика проведения испытаний для снятия скоростных, нагрузочных и регулировочных характеристик.

18. Определение эффективной мощности, крутящего момента, удельного эффективного расхода топлива.

19. Расчёт индикаторных показателей (по результатам снятия индикаторных диаграмм).

20. Построение внешней скоростной характеристики. Определение коэффициента приспособляемости.

Модуль 2. Экологические и виброакустические испытания. Испытания систем. Планирование эксперимента

21. Методы определения токсичности отработавших газов бензиновых двигателей. Испытательные циклы (Евро).

22. Методы определения дымности отработавших газов дизельных двигателей. Измерение коэффициента дымности на режимах свободного ускорения.

23. Определение массовых выбросов вредных веществ. Оценка соответствия экологическим нормам.

24. Методы измерения внешнего и внутреннего шума двигателя. Условия проведения измерений (ГОСТ Р 53838-2010).

25. Методы измерения вибрации двигателя. Точки установки датчиков. Анализ спектров вибрации.

26. Методики испытаний топливной аппаратуры (ТНВД, форсунок) на стендах.

27. Испытания масляных насосов, насосов систем охлаждения, турбокомпрессоров.

28. Испытания систем впуска и выпуска (гидравлическое сопротивление, герметичность). Испытания радиаторов и теплообменников.

29. Основы теории планирования эксперимента. Пассивный и активный эксперимент.

30. Выбор варьируемых факторов и уровней их изменения. Построение плана эксперимента (полный факторный эксперимент, дробный факторный эксперимент).

31. Построение математических моделей процесса (регрессионные модели). Оценка значимости коэффициентов регрессии. Проверка адекватности модели.

32. Структура и содержание отчёта по испытаниям. Оформление протоколов испытаний.

33. Представление экспериментальных данных в виде таблиц и графиков. Формулирование выводов и технических рекомендаций.