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

ВИБРОАКУСТИКА НА ТРАНСПОРТЕ

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., профессор  /В.В. Галевко/

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 9
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 10
3.4.1. Семинарские/практические занятия 10
3.4.2. Лабораторные занятия 11
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 12
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 12
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 12
4.2. Основная литература 13
4.3. Дополнительная литература 13
4.4. Электронные образовательные ресурсы 13
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 13
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 14
5. Материально-техническое обеспечение 14
6. Методические рекомендации 15
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 15
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 16
7. Фонд оценочных средств 17
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 17
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 19
7.3 Оценочные средства 22

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся углублённых теоретических знаний и практических навыков в области виброакустической диагностики, анализа и моделирования шума и вибрации транспортных средств, а также методов разработки эффективных мероприятий по снижению их виброакустической активности до уровней, соответствующих современным национальным и международным нормативным требованиям, на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

Задачами дисциплины являются:

- изучение современных методов математического моделирования виброакустических процессов в сложных механических системах, включая метод конечных элементов и статистический энергетический анализ;
- освоение методов экспериментального исследования вибрации и шума, включая модальный анализ, анализ спектров и определение источников звукоизлучения;
- формирование навыков идентификации источников шума и вибрации в поршневых двигателях, трансмиссиях и других агрегатах транспортных средств;
- изучение методов расчёта и проектирования средств виброизоляции, вибропоглощения и звукоизоляции для транспортных средств;
- приобретение навыков расчёта акустических характеристик глушителей шума впуска и выпуска двигателей внутреннего сгорания;
- освоение методов оценки виброакустических характеристик транспортных средств на соответствие требованиям международных стандартов (ISO, ГОСТ) и правил ЕЭК ООН;
- изучение современных методов активного снижения шума и вибрации с использованием адаптивных систем;
- формирование умения разрабатывать комплексные мероприятия по снижению шума и вибрации на этапе проектирования и доводки транспортного средства.

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-3.7.** 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 углубляет и систематизирует знания по виброакустике применительно к транспортным средствам, с акцентом на силовой агрегат как источник вибрационного и акустического возбуждения. Студенты изучают пути передачи колебаний и шума от двигателя на кузов, методы экспериментального и численного моделирования виброакустических процессов, включая модальный анализ и определение частотных передаточных функций. В ходе лабораторных работ и практических занятий формируются навыки разработки плана виброакустических испытаний силового агрегата на стенде с выбором точек установки датчиков и режимов испытаний (ИПК-3.7); обработки данных с акселерометров и микрофонов, построения спектров виброускорения и шума, определения частотных характеристик (ИПК-3.8); сравнения полученных результатов с нормативными уровнями (ГОСТ, Правила ЕЭК ООН) и формулирования выводов о соответствии (ИПК-3.9).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Виброакустика на транспорте»** относится к **части блока Б.1, формируемой участниками образовательных отношений** учебного плана (код дисциплины: Б1.2.11) и изучается в **7-м семестре**.

Данная дисциплина является **углублённым курсом третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация»**, обеспечивая комплексный подход к анализу и снижению виброакустической активности разрабатываемого двигателя и транспортного средства в целом, а также формируя навыки экспериментальной верификации расчётных моделей.

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 акустики, колебаний и волновых процессов необходимо для понимания виброакустических явлений.
- **Инженерная механика в энергетическом машиностроении** (Б1.1.16, 3 семестр): знание теории колебаний механических систем является фундаментом для виброакустического анализа.
- **Инженерная механика машин и механизмов** (Б1.1.21, 4 семестр): понимание динамики механизмов и методов уравновешивания необходимо для анализа источников вибрации.
- **Динамический расчет поршневых двигателей** (Б1.2.4, 5 семестр): знание динамических нагрузок и неуравновешенных сил и моментов необходимо для понимания возбуждающих факторов.
- **Снижение шума и вибрации автотранспортных средств** (Б1.2.10, 6 семестр): является предшествующей дисциплиной, формирующей базовые знания в области виброакустики.
- **Конструкция поршневых двигателей** (Б1.2.2, 2 семестр) и **Системы поршневых двигателей** (Б1.2.5, 5 семестр): знание конструкции необходимо для локализации источников шума и вибрации.
- **Вычислительная гидрогазодинамика в проектировании и верификации двигателей** (Б1.1.19, 4-5 семестры): знание газодинамических процессов необходимо для анализа аэродинамических шумов.
- **Математика** (школьный курс, а также дисциплины «Линейная алгебра» (Б1.1.26.1, 1 семестр) и «Математический анализ» (Б1.1.26.2, 2 семестр): владение методами спектрального анализа и дифференциальными уравнениями необходимо для обработки результатов измерений.

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

- **Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.14, 7 семестр): виброакустические испытания являются важной частью экспериментальной верификации (IV этап).
- **Диагностика и техническая эксплуатация поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.18, 8 семестр): вибродиагностика используется для определения технического состояния в эксплуатации (V этап).
- **Разработка конструкторской документации на двигатели и их компоненты** (Б1.2.15, 7 семестр): результаты виброакустического анализа учитываются при окончательном оформлении КД (IV этап).
- Все последующие дисциплины, связанные с доводкой, испытаниями и эксплуатацией двигателей, а также подготовка и защита выпускной квалификационной работы.

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	**ИОПК-3.1**. Умеет применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач
	ИОПК-3.2. Умеет применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
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-3.7.** Способен разработать пла виброакустических испытаний силового агрегат на стенде
	ИПК-3.8. Способен обработать данные акселерометров и микрофонов, строить спектр виброускорения и шума
	ИПК-3.9. Способен сравнивать результаты нормативными уровнями, делать вывод соответствии

Роль дисциплины в формировании компетенций:

Формирующая. Дисциплина углубляет и систематизирует знания по виброакустике применительно к транспортным средствам, с акцентом на силовой агрегат как источник вибрационного и акустического возбуждения. Студенты изучают пути передачи колебаний и шума от двигателя на кузов, методы экспериментального и численного моделирования виброакустических процессов, включая модальный анализ и определение частотных передаточных функций. В ходе лабораторных работ и практических занятий формируются навыки разработки плана виброакустических испытаний силового агрегата на стенде с выбором точек установки датчиков и режимов испытаний (ИПК-3.7); обработки данных с акселерометров и микрофонов, построения спектров виброускорения и шума, определения частотных характеристик (ИПК-3.8); сравнения полученных результатов с нормативными уровнями (ГОСТ, Правила ЕЭК ООН) и формулирования выводов о соответствии (ИПК-3.9).

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:		

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
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
	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 7	**Виброакустика на транспорте**						
1	Тема 1. Введение. Основные понятия и задачи виброакустики	8	4	2	2	–	4
2	Тема 2. Силовой агрегат как источник виброакустического возбуждения	16	8	2	4	2	8

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
3	Тема 3. Пути передачи колебаний и шума от силового агрегата	16	8	2	4	2	8
4	Тема 4. Методы исследования виброакустических характеристик	18	10	2	4	4	8
5	Тема 5. Численное моделирование в виброакустике	20	10	2	4	4	10
6	Тема 6. Экспериментальная виброакустическая диагностика	18	10	2	4	4	8
7	Тема 7. Виброакустика шин и дорожного покрытия	16	8	2	4	2	8
8	Тема 8. Методы снижения виброакустической активности	18	8	2	4	2	10

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
9	Тема 9. Нормирование и сертификация по виброакустическим показателям	14	6	2	4	–	8
	Итого за 1 семестр	**144**	**72**	**18**	**36**	**18**	**72**

3.3. Содержание дисциплины

Семестр 7. Виброакустика на транспорте

Тема 1. Введение. Основные понятия и задачи виброакустики

Предмет и задачи виброакустики. Роль виброакустических исследований в обеспечении комфорта, долговечности и экологической безопасности транспортных средств. Место дисциплины в сквозном проектировании: анализ и улучшение виброакустических характеристик разрабатываемого двигателя и автомобиля. Основные понятия: вибрация, шум, инфразвук, ультразвук. Классификация вибраций по способу передачи, частотному диапазону, источнику возникновения. Виброакустический сигнал и его параметры. Связь с курсом «Снижение шума и вибрации автотранспортных средств» .

Тема 2. Силовой агрегат как источник виброакустического возбуждения

Силовой агрегат (СА) как сложный источник шума и вибраций. Причины возникновения вибраций: неуравновешенные силы и моменты инерции, газодинамические процессы, силовое взаимодействие в кинематических парах . Виброакустические характеристики двигателя: уровни вибрации на опорах, структурный шум, излучаемый поверхностями. Исследование «громких» излучающих поверхностей силового агрегата. Влияние режимов работы двигателя на виброакустические характеристики. Коробка передач и трансмиссия как источники вибрации .

Тема 3. Пути передачи колебаний и шума от силового агрегата

Структурные пути передачи колебаний: передача вибрации через опоры силового агрегата на кузов. Воздушные пути передачи шума: акустическое излучение поверхностями СА и его распространение в моторном отсеке . Схемы подвески силового агрегата: маятниковая, полумаятниковая, четырёхопорная . Влияние расположения опор и их упругодемпфирующих характеристик на передачу колебаний. Формы твёрдотельных колебаний СА (6 форм) и их зависимость от схемы подвеса. Критерии оптимального расположения опор.

Тема 4. Методы исследования виброакустических характеристик

Экспериментальные методы: измерение вибрации и шума, определение частотных характеристик, модальный анализ. Расчётно-экспериментальные методы: идентификация источников, определение путей передачи. Метод комплексных исследований колебаний силового агрегата . Экспериментальное определение динамических характеристик опор СА на стенде и на автомобиле. Разработка требований к характеристикам опор. Виброакустический контроль технического состояния ДВС и агрегатов автомобиля .

Тема 5. Численное моделирование в виброакустике

Конечно-элементное моделирование (МКЭ) виброакустических процессов. Построение расчётных моделей силового агрегата, кузова, элементов подвески. Задание граничных условий и нагрузок. Методы ускорения численного моделирования: редуцирование расчётной модели (сокращение числа степеней свободы) . Валидация расчётных моделей по критерию частотного отклика (FRF). Сравнение расчётных и экспериментальных данных. Прогнозирование виброакустических характеристик на этапе проектирования .

Тема 6. Экспериментальная виброакустическая диагностика

Методы и средства виброакустической диагностики технического состояния агрегатов транспорта. Диагностические признаки: уровни вибрации, спектральный состав, кепстральный анализ. Диагностирование двигателя внутреннего сгорания: оценка состояния цилиндропоршневой группы, газораспределительного механизма, подшипников. Диагностирование агрегатов трансмиссии (коробки передач, главной передачи) . Методы безмоторных испытаний систем выпуска . Обработка и анализ результатов измерений, построение спектров виброускорения и шума.

Тема 7. Виброакустика шин и дорожного покрытия

Шум качения шин: механизмы возникновения, частотные характеристики. Влияние конструкции шины (рисунок протектора, материал) на шумообразование. Влияние дорожного покрытия на шум шин. Методы измерения шума шин . Нормирование шума шин. Методы снижения шума качения. Акустические свойства пористых дорожных покрытий .

Тема 8. Методы снижения виброакустической активности

Методы снижения вибрации и шума в источнике возникновения: уравновешивание двигателя, оптимизация рабочих процессов, применение малошумных конструкций. Методы снижения на путях передачи: виброизоляция (оптимизация характеристик опор СА), вибродемпфирование (применение демпфирующих материалов и конструкций), динамические виброгасители. Методы снижения воздушного шума: звукоизоляция, звукопоглощение, применение акустических экранов и кожухов. Разработка технических решений, направленных на улучшение виброакустических характеристик силового агрегата . Примеры конструкций глушителей шума .

Тема 9. Нормирование и сертификация по виброакустическим показателям

Нормативные документы, регламентирующие виброакустические характеристики транспортных средств. Правила ЕЭК ООН по внешнему и внутреннему шуму. Национальные стандарты (ГОСТ Р). Нормирование вибрации на рабочем месте водителя. Методы сертификационных испытаний по шуму. Перспективы ужесточения норм. Нормализация акустических свойств автомобилей в России .

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 2	Расчёт неуравновешенных сил и моментов в двигателе	2
2	Тема 2	Идентификация «громких» излучающих поверхностей силового агрегата	2
3	Тема 3	Расчёт и выбор оптимальных мест расположения опор силового агрегата	2
4	Тема 3	Определение форм твёрдотельных колебаний силового агрегата	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
5	Тема 4	Планирование эксперимента по исследованию виброакустических характеристик	2
6	Тема 5	Построение и редуцирование конечно-элементной модели силового агрегата	4
7	Тема 5	Валидация расчётной модели по частотному отклику (FRF)	2
8	Тема 6	Обработка и анализ спектров вибрации при диагностировании ДВС	2
9	Тема 6	Разработка алгоритма виброакустической диагностики агрегата трансмиссии	2
10	Тема 7	Расчёт ожидаемого уровня шума шин по эмпирическим зависимостям	2
11	Тема 8	Расчёт параметров динамического виброгасителя	2
12	Тема 8	Расчёт эффективности виброизоляции опор силового агрегата	2
13	Тема 8	Анализ патентных решений по снижению виброакустической активности (по патентам Галевко В.В.)	2
14	Тема 9	Оценка соответствия автомобиля нормативным требованиям по внешнему шуму	2
15	Тема 9	Оценка соответствия автомобиля нормативным требованиям по внутреннему шуму	2
16	Тема 4-6	Комплексный анализ виброакустических характеристик силового агрегата	4
	Итого		**36**

3.4.2. Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
1	Тема 2	Экспериментальное определение виброакустических характеристик двигателя на стенде	2
2	Тема 3	Исследование влияния жёсткости опор на передачу вибрации от силового агрегата	2
3	Тема 4	Модальный анализ корпусной детали (блока цилиндров, картера)	2
4	Тема 4	Экспериментальное определение частотного отклика (FRF) конструкции	2
5	Тема 6	Виброакустическая диагностика технического состояния ДВС	2
6	Тема 6	Виброакустическая диагностика агрегатов трансмиссии	2
7	Тема 7	Измерение шума качения шин на стенде (или анализ нормативной базы)	2
8	Тема 8	Исследование эффективности звукоизолирующих и вибродемпфирующих материалов	2
9	Тема 5	Верификация расчётной модели силового агрегата по результатам эксперимента	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 для анализа и улучшения виброакустических характеристик разрабатываемого двигателя или автомобиля.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 10150– 2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия
2. ГОСТ Р 54120-2010 Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования
3. ГОСТ Р 52033-2003 Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния

4. ГОСТ Р 52160—2003 автотранспортные средства, оснащенные двигателями с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния.

4.2. Основная литература

1. Попов, А. Л. Виброакустика тонкостенных конструкций : А. Л. Попов. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2014. — 72 с. — ISBN 978-5-7264-0977-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/73661 (дата обращения: 25.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Жеглов, Л. Ф. Виброакустика колесных машин : Л. Ф. Жеглов. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 170 с. — ISBN 978-5-7038-3710-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/58534 (дата обращения: 25.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Крапивцев, В. Г. Виброакустика колесных машин : / В. Г. Крапивцев. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 135 с. — ISBN 978-5-7038-3324-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/52139 (дата обращения: 25.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.3. Дополнительная литература

1. Глазков, Ю. Ф. Специальные главы прочности. Расчет тонкостенных и стержневых конструкций методом конечных элементов : Ю. Ф. Глазков. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2012. — 79 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/69416 (дата обращения: 25.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Красильников, А. З. Анализ прочности элементов конструкций : А. З. Красильников, Н. Р. Туркина. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2021. — 75 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/220148 (дата обращения: 25.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.4. Электронные образовательные ресурсы

Виброакустика на транспорте и в энергетике
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=15724

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	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование:

Наименование специальных помещений	Оснащённость специальных помещений
107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	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 (экзамена). Дисциплина «Виброакустика на транспорте» является формирующей для компетенции **ПК-3**, обеспечивая углублённые теоретические знания и практические навыки в области виброакустической диагностики, анализа и моделирования шума и вибрации транспортных средств, а также методов разработки эффективных мероприятий по снижению их виброакустической активности до уровней, соответствующих современным национальным и международным нормативным требованиям, на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих индикаторов 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.

Дисциплина «Виброакустика на транспорте» является углублённым курсом третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация», обеспечивая комплексный подход к анализу и снижению виброакустической активности разрабатываемого двигателя и транспортного средства в целом, а также формируя навыки экспериментальной верификации расчётных моделей.

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 методов моделирования виброакустических процессов, методов экспериментального исследования, методов идентификации источников, методов расчёта средств виброизоляции и звукоизоляции, методов активного шумоподавления, а также нормативной базы. Результаты тестирования используются для оценки уровня освоения материала модуля и определения готовности студента к дальнейшему обучению. Проверяемые индикаторы: ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Устный опрос (собеседование)

Проводится в ходе практических и лабораторных занятий для проверки понимания студентом теоретического материала, способности аргументированно излагать методы виброакустического анализа, объяснять физические основы возникновения и распространения шума и вибрации, обосновывать выбор методов снижения виброакустической активности. 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 план виброакустических испытаний и интерпретировать их результаты. Проверяемые индикаторы: ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Практические занятия

В ходе выполнения практических заданий (расчёт неуравновешенных сил и моментов, идентификация «громких» излучающих поверхностей, расчёт и выбор оптимальных мест

расположения опор силового агрегата, планирование эксперимента, построение и редуцирование конечно-элементной модели, обработка и анализ спектров вибрации, расчёт параметров динамического виброгасителя, оценка соответствия нормативным требованиям) 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 виброакустического анализа и разработки мероприятий по снижению шума и вибрации, необходимых для выполнения третьего этапа сквозного проекта. Проверяемые индикаторы: ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Лабораторные занятия

В ходе выполнения лабораторных работ студент работает с лабораторным оборудованием: вибростендами, акселерометрами, микрофонами, шумомерами, системами сбора данных. Проводятся работы по экспериментальному определению виброакустических характеристик двигателя, исследованию влияния жёсткости опор на передачу вибрации, модальному анализу корпусной детали, определению частотного отклика, виброакустической диагностике технического состояния, исследованию эффективности звукоизолирующих и вибродемпфирующих материалов, верификации расчётных моделей. Оценивается умение работать с измерительным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, анализировать спектры, строить диагностические заключения. Лабораторные работы выполняются в соответствии с методическими указаниями и защищаются студентом путём ответов на контрольные вопросы. Проверяемые индикаторы: 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 виброакустическим анализом и разработкой мероприятий по снижению шума и вибрации проектируемого двигателя. Содержание индивидуального задания включает разработку плана виброакустических испытаний, расчёт ожидаемых уровней вибрации и шума, построение конечно-элементной модели силового агрегата, проведение модального анализа, разработку мероприятий по снижению виброакустической активности (выбор оптимальных характеристик опор, расчёт виброгасителей, выбор звукоизолирующих материалов), оценку соответствия нормативным требованиям. 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-3.7, ИПК-3.8, 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 виброакустики) и одно практическое задание (расчётная задача или анализ спектров). Результаты экзамена 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-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9.

Роль дисциплины в оценке результатов сквозного проекта

Дисциплина «Виброакустика на транспорте» формирует фундаментальные знания и навыки, необходимые для выполнения третьего этапа сквозного проекта — «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». В рамках этого этапа студент должен выполнить виброакустический анализ проектируемого двигателя, разработать план испытаний, провести модальный анализ, разработать мероприятия по снижению шума и вибрации, оценить соответствие нормативным требованиям. Результаты освоения дисциплины оцениваются в ходе

защиты индивидуального задания и отчёта по третьему 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

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 виброакустического анализа, понимает принципы моделирования, знает методы экспериментального исследования, умеет обрабатывать спектры, разрабатывать мероприятия по снижению шума и вибрации. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне индикаторов ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9 в части теоретических основ виброакустики.

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 анализе спектров, не может разработать план испытаний, не знает методов снижения шума. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

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 выполняет расчёты, анализирует спектры, разрабатывает планы испытаний, оценивает соответствие нормативным требованиям. Сформированность индикаторов ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9 оценивается на продвинутом уровне, что позволяет студенту успешно выполнить раздел сквозного проекта, связанный с виброакустическим анализом.

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 модальным анализом или методами активного шумоподавления. 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 обработке спектров, 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 обработать спектры, допускает грубые ошибки. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение раздела сквозного проекта по виброакустике без дополнительной подготовки.

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 методов математического моделирования виброакустических процессов, методов экспериментального исследования, методов идентификации источников, методов расчёта средств виброизоляции и звукоизоляции, методов активного шумоподавления, нормативной базы. Уверенно и

аргументированно отвечает на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. В контексте сквозного проекта такой уровень подготовки позволяет студенту самостоятельно разрабатывать план виброакустических испытаний и интерпретировать их результаты.

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, методы активного шумоподавления). 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 анализе спектров, 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 обработать спектры, не знает методов снижения шума. Отсутствует понимание физических процессов, порождающих шум и вибрацию. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Студент не готов к выполнению раздела сквозного проекта по виброакустике.

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 неуравновешенных сил, идентификации источников, планирования эксперимента, обработки спектров, разработки мероприятий по снижению шума. 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 виброакустического анализа, необходимыми для выполнения третьего этапа сквозного проекта.

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 измерительным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, анализировать спектры, строить диагностические заключения. 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 «отлично» выставляется студенту, который полностью выполнил индивидуальное задание в соответствии с требованиями. Студент демонстрирует глубокое понимание методов виброакустического анализа, самостоятельно разрабатывает план испытаний, выполняет расчёты, строит конечно-элементную модель, проводит модальный анализ, разрабатывает обоснованные мероприятия по снижению виброакустической активности, оценивает соответствие нормативным требованиям. 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 физических процессов. Сформированность индикаторов ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9 оценивается на продвинутом уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание в полном объёме, но допускает отдельные неточности в расчётах или неполноту в обосновании выбора мероприятий. Студент демонстрирует понимание методов анализа, способен выполнять основные этапы, но может испытывать затруднения при интерпретации результатов модального анализа. 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 расчётах или не полностью выполнил требуемые разделы. Студент демонстрирует фрагментарные знания методов виброакустического анализа, испытывает значительные затруднения при обработке спектров. 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 объёме или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания методов виброакустического анализа, 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 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 методов математического моделирования виброакустических процессов, методов экспериментального исследования, методов идентификации источников, методов расчёта средств виброизоляции и звукоизоляции, методов активного шумоподавления, нормативной базы. Уверенно и без ошибок выполняет практическое задание (расчётную задачу или анализ спектров), аргументирует последовательность решения, делает обоснованные выводы. Даёт полные ответы на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов ИПК-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9 оценивается на продвинутом уровне, что подтверждает готовность студента к выполнению третьего 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 третьего этапа сквозного проекта.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

7.3.1.1 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 виброакустики. Источники и пути передачи. Методы исследования

Включает темы: Тема 1. Введение. Основные понятия и задачи виброакустики; Тема 2. Силовой агрегат как источник виброакустического возбуждения; Тема 3. Пути передачи колебаний и шума от силового агрегата; Тема 4. Методы исследования виброакустических характеристик; Тема 5. Численное моделирование в виброакустике.

Модуль 2 (недели 9–16) — Экспериментальная диагностика. Методы снижения. Нормирование

Включает темы: Тема 6. Экспериментальная виброакустическая диагностика; Тема 7. Виброакустика шин и дорожного покрытия; Тема 8. Методы снижения виброакустической активности; Тема 9. Нормирование и сертификация по виброакустическим показателям.

7.3.1.2 Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)

7.3.1.2.1 Модуль 1. Основы виброакустики. Источники и пути передачи. Методы исследования

Модуль 1. Основы виброакустики. Источники и пути передачи. Методы исследования

Перечень вопросов для собеседования:

1. Предмет и задачи виброакустики. Роль виброакустических исследований в обеспечении комфорта, долговечности и экологической безопасности транспортных средств.
2. Основные понятия: вибрация, шум, инфразвук, ультразвук. Классификация вибраций по способу передачи, частотному диапазону, источнику возникновения.
3. Силовой агрегат (СА) как сложный источник шума и вибраций. Причины возникновения вибраций: неуравновешенные силы и моменты инерции, газодинамические процессы, силовое взаимодействие в кинематических парах.
4. Виброакустические характеристики двигателя: уровни вибрации на опорах, структурный шум, излучаемый поверхностями. Исследование «громких» излучающих поверхностей силового агрегата.
5. Влияние режимов работы двигателя на виброакустические характеристики. Коробка передач и трансмиссия как источники вибрации.
6. Структурные пути передачи колебаний: передача вибрации через опоры силового агрегата на кузов. Воздушные пути передачи шума: акустическое излучение поверхностями СА и его распространение в моторном отсеке.
7. Схемы подвески силового агрегата: маятниковая, полумаятниковая, четырёхопорная. Влияние расположения опор и их упругодемпфирующих характеристик на передачу колебаний.
8. Формы твёрдотельных колебаний СА (6 форм) и их зависимость от схемы подвеса. Критерии оптимального расположения опор.

9. Экспериментальные методы исследования виброакустических характеристик: измерение вибрации и шума, определение частотных характеристик, модальный анализ.

10. Расчётно-экспериментальные методы: идентификация источников, определение путей передачи. Метод комплексных исследований колебаний силового агрегата.

11. Экспериментальное определение динамических характеристик опор СА на стенде и на автомобиле. Разработка требований к характеристикам опор.

12. Конечно-элементное моделирование (МКЭ) виброакустических процессов. Построение расчётных моделей силового агрегата, кузова, элементов подвески.

13. Задание граничных условий и нагрузок. Методы ускорения численного моделирования: редуцирование расчётной модели (сокращение числа степеней свободы).

14. Валидация расчётных моделей по критерию частотного отклика (FRF). Сравнение расчётных и экспериментальных данных. Прогнозирование виброакустических характеристик на этапе проектирования.

Модуль 2. Экспериментальная диагностика. Методы снижения. Нормирование

Перечень вопросов для собеседования:

1. Методы и средства виброакустической диагностики технического состояния агрегатов транспорта. Диагностические признаки: уровни вибрации, спектральный состав, кепстральный анализ.

2. Диагностирование двигателя внутреннего сгорания: оценка состояния цилиндропоршневой группы, газораспределительного механизма, подшипников.

3. Диагностирование агрегатов трансмиссии (коробки передач, главной передачи). Методы безмоторных испытаний систем выпуска.

4. Обработка и анализ результатов измерений, построение спектров виброускорения и шума.

5. Шум качения шин: механизмы возникновения, частотные характеристики. Влияние конструкции шины (рисунок протектора, материал) на шумообразование.

6. Влияние дорожного покрытия на шум шин. Методы измерения шума шин. Нормирование шума шин. Методы снижения шума качения. Акустические свойства пористых дорожных покрытий.

7. Методы снижения вибрации и шума в источнике возникновения: уравновешивание двигателя, оптимизация рабочих процессов, применение малошумных конструкций.

8. Методы снижения на путях передачи: виброизоляция (оптимизация характеристик опор СА), вибродемпфирование (применение демпфирующих материалов и конструкций), динамические виброгасители.

9. Методы снижения воздушного шума: звукоизоляция, звукопоглощение, применение акустических экранов и кожухов.

10. Разработка технических решений, направленных на улучшение виброакустических характеристик силового агрегата. Примеры конструкций глушителей шума.

11. Нормативные документы, регламентирующие виброакустические характеристики транспортных средств. Правила ЕЭК ООН по внешнему и внутреннему шуму.

12. Национальные стандарты (ГОСТ Р). Нормирование вибрации на рабочем месте водителя. Методы сертификационных испытаний по шуму.

13. Перспективы ужесточения норм. Нормализация акустических свойств автомобилей в России.

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. **Какое количество форм твёрдотельных колебаний обычно рассматривается для силового агрегата?**
2. A) 3
3. B) 6
4. C) 9
5. D) 12

Правильный ответ: B

6. **Какой метод используется для определения собственных частот и форм колебаний конструкции?**
7. A) Спектральный анализ
8. B) Модальный анализ
9. C) Кепстральный анализ
10. D) Когерентный анализ

Правильный ответ: B

11. **Какой путь передачи шума характеризуется излучением звука непосредственно от поверхности источника?**
12. A) Структурный путь
13. B) Воздушный путь
14. C) Гидравлический путь
15. D) Механический путь

Правильный ответ: B

16. **Какой метод снижения вибрации основан на изменении динамических характеристик системы путём добавления дополнительной массы?**
17. A) Виброизоляция
18. B) Вибродемпфирование
19. C) Динамический виброгаситель
20. D) Звукоизоляция

Правильный ответ: C

21. **Какое правило ЕЭК ООН регламентирует внешний шум транспортных средств?**
22. A) Правило № 24
23. B) Правило № 51-02
24. C) Правило № 83
25. D) Правило № 49

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 виброакустическим анализом и разработкой мероприятий по снижению шума и вибрации проектируемого двигателя.

Содержание индивидуального задания:

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Разработка плана виброакустических испытаний.** Студент разрабатывает план испытаний силового агрегата на стенде. Определяет цели испытаний, выбирает измерительное оборудование (акселерометры, микрофоны, шумомеры, систему сбора данных), определяет точки установки датчиков, режимы нагружения, количество измерений.

2. **Расчёт ожидаемых уровней вибрации и шума.** На основе анализа аналогов и расчётных методов определяются ожидаемые уровни вибрации на опорах и структурного шума проектируемого двигателя. Проводится сравнение с нормативными требованиями.
3. **Построение конечно-элементной модели силового агрегата.** С использованием CAD-модели создаётся конечно-элементная модель силового агрегата. Проводится упрощение модели (удаление мелких элементов, замена сложных геометрий). Выполняется редуцирование модели для сокращения числа степеней свободы.
4. **Модальный анализ.** Проводится модальный анализ конечно-элементной модели. Определяются собственные частоты и формы колебаний силового агрегата. Выявляются «громкие» излучающие поверхности.
5. **Разработка мероприятий по снижению виброакустической активности.** На основе проведённого анализа разрабатываются мероприятия:
    - выбор оптимальных характеристик виброизолирующих опор (жёсткость, демпфирование);
    - расчёт динамического виброгасителя для снижения вибрации на резонансной частоте;
    - выбор звукоизолирующих и вибродемпфирующих материалов для моторного отсека и кузова;
    - разработка рекомендаций по конструктивным изменениям для снижения структурного шума.
6. **Оценка соответствия нормативным требованиям.** Проводится оценка ожидаемых уровней шума и вибрации после внедрения разработанных мероприятий. Сравнение с требованиями Правил ЕЭК ООН и национальных стандартов.
7. **Подготовка отчёта.** Оформление пояснительной записки с описанием всех этапов работы, результатами расчётов, графическими материалами, выводами и рекомендациями.

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 виброакустического анализа;
- основную часть, содержащую план испытаний, расчёты, моделирование, разработку мероприятий;
- графические материалы (схемы расположения датчиков, формы колебаний, спектры);
- заключение с выводами по результатам выполненной работы;
- список использованных источников.

Примерные темы индивидуальных заданий:

1. Разработка плана виброакустических испытаний и анализ вибрационных характеристик двигателя.
2. Конечно-элементное моделирование и модальный анализ блока цилиндров двигателя.
3. Разработка мероприятий по снижению структурного шума двигателя с применением вибродемпфирующих материалов.
4. Выбор и расчёт виброизолирующих опор силового агрегата для снижения передачи вибрации на кузов.
5. Разработка динамического виброгасителя для снижения вибрации коленчатого вала.
6. Анализ шума качения шин и разработка мероприятий по его снижению.
7. Оценка соответствия виброакустических характеристик автомобиля требованиям Правил ЕЭК ООН.

7.3.1.5 Оценочные средства для практических занятий

Типовые задания для практических занятий

Модуль 1. Основы виброакустики. Источники и пути передачи. Методы исследования

Задание 1. Расчёт неуравновешенных сил и моментов в двигателе

Для заданного двигателя (рядный 4-цилиндровый, V6, V8) рассчитать неуравновешенные силы и моменты инерции первого и второго порядка. Определить необходимость установки балансирных валов.

Задание 2. Идентификация «громких» излучающих поверхностей силового агрегата

По заданным результатам измерений вибрации на поверхностях двигателя (карта виброскоростей) идентифицировать поверхности с наибольшим уровнем вибрации. Предложить мероприятия по снижению излучения.

Задание 3. Расчёт и выбор оптимальных мест расположения опор силового агрегата

Для заданной схемы подвески двигателя (3 или 4 опоры) определить оптимальные координаты расположения опор из условия минимизации передачи вибрации на кузов.

Задание 4. Определение форм твёрдотельных колебаний силового агрегата

По заданным результатам модального анализа (формы колебаний) определить доминирующие формы (вертикальная, горизонтальная, крутильная). Оценить их влияние на передачу вибрации.

Модуль 2. Экспериментальная диагностика. Методы снижения. Нормирование

Задание 5. Планирование эксперимента по исследованию виброакустических характеристик

Для заданного двигателя разработать план эксперимента: определить количество точек измерения, частотный диапазон, режимы работы двигателя. Обосновать выбор измерительного оборудования.

Задание 6. Построение и редуцирование конечно-элементной модели силового агрегата

На основе заданной CAD-модели двигателя построить конечно-элементную модель. Выполнить редуцирование модели (сокращение числа степеней свободы) для ускорения расчёта.

Задание 7. Валидация расчётной модели по частотному отклику (FRF)

По заданным экспериментальным и расчётным частотным характеристикам провести валидацию модели. Определить степень соответствия.

Задание 8. Обработка и анализ спектров вибрации при диагностировании ДВС

По заданным спектрам вибрации (осциллограммам) определить характерные частотные составляющие. Идентифицировать возможные неисправности (износ подшипников, неисправность ГРМ).

Задание 9. Разработка алгоритма виброакустической диагностики агрегата трансмиссии

Для заданного агрегата трансмиссии (коробка передач, главная передача) разработать алгоритм пошаговой диагностики с использованием виброакустических методов.

Задание 10. Расчёт параметров динамического виброгасителя

Для заданной резонансной частоты системы $f0 = 80$ Гц и массы $m = 50$ кг рассчитать параметры динамического виброгасителя (массу и жёсткость). Определить эффективность гашения.

Задание 11. Расчёт эффективности виброизоляции опор силового агрегата

Для заданных характеристик опор (жёсткость, демпфирование) и частоты возбуждения рассчитать коэффициент передачи вибрации. Оценить эффективность виброизоляции.

Задание 12. Анализ патентных решений по снижению виброакустической активности

По заданной теме провести патентный поиск в области снижения шума и вибрации двигателей. Проанализировать 2-3 патентных документа, оценить новизну и эффективность предложенных решений.

Задание 13. Оценка соответствия автомобиля нормативным требованиям по внешнему шуму

По заданным результатам измерений внешнего шума автомобиля (уровни звука на различных скоростях) оценить соответствие требованиям Правил ЕЭК ООН №51-02. Сделать вывод.

Задание 14. Оценка соответствия автомобиля нормативным требованиям по внутреннему шуму

По заданным результатам измерений внутреннего шума (на различных режимах движения) оценить соответствие требованиям ГОСТ Р. Сделать вывод.

7.3.1.6 Оценочные средства для лабораторных занятий

Перечень лабораторных работ и контрольные вопросы для защиты

Лабораторная работа №1. Экспериментальное определение виброакустических характеристик двигателя на стенде

Краткое содержание: установка акселерометров и микрофонов, подключение к системе сбора данных, проведение измерений вибрации и шума на различных режимах работы двигателя. Запись и сохранение данных.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие точки установки датчиков выбраны и почему?
- Какие режимы работы двигателя выбраны для испытаний?
- Как обеспечивается синхронизация измерений?
- Каковы основные источники погрешности?

Лабораторная работа №2. Исследование влияния жёсткости опор на передачу вибрации от силового агрегата

Краткое содержание: изменение жёсткости опор (замена резиновых втулок, изменение натяга), измерение вибрации на опорах и на кузове. Построение зависимостей коэффициента передачи от жёсткости.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как влияет жёсткость опор на передачу вибрации?
- Какие частоты являются наиболее критичными?
- Как выбрать оптимальную жёсткость опор?
- Каковы недостатки слишком мягких и слишком жёстких опор?

Лабораторная работа №3. Модальный анализ корпусной детали (блока цилиндров, картера)

Краткое содержание: установка акселерометров, возбуждение конструкции ударным молотком, измерение частотных характеристик. Определение собственных частот и форм колебаний. Сравнение с результатами конечно-элементного расчёта.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое модальный анализ?
- Как проводится модальный анализ экспериментально?
- Какие собственные частоты и формы колебаний определены?
- Как результаты модального анализа используются для снижения вибрации?

Лабораторная работа №4. Экспериментальное определение частотного отклика (FRF) конструкции

Краткое содержание: возбуждение конструкции вибростендом, измерение отклика в различных точках. Построение частотных характеристик. Определение резонансных частот и коэффициентов демпфирования.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое частотная передаточная функция (FRF)?
- Как определяется FRF экспериментально?
- Какие параметры можно определить из FRF?
- Как FRF используется для валидации расчётных моделей?

Лабораторная работа №5. Виброакустическая диагностика технического состояния ДВС

Краткое содержание: проведение измерений вибрации на работающем двигателе. Анализ спектров вибрации, выявление характерных частотных составляющих. Идентификация неисправностей (износ цилиндропоршневой группы, неисправность ГРМ, подшипников).

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие частоты характерны для работы цилиндропоршневой группы?
- Как диагностируется износ подшипников коленчатого вала?
- Каковы признаки неисправности газораспределительного механизма?
- Как составить заключение по результатам вибродиагностики?

Лабораторная работа №6. Виброакустическая диагностика агрегатов трансмиссии

Краткое содержание: проведение измерений вибрации на коробке передач и главной передаче. Анализ спектров, выявление частот зубцового зацепления. Идентификация неисправностей (износ зубьев, несоосность).

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие частоты характерны для зубчатых передач?
- Как диагностируется износ зубьев шестерён?
- Как диагностируется несоосность валов?
- Каковы методы безмоторных испытаний систем выпуска?

Лабораторная работа №7. Измерение шума качения шин на стенде (или анализ нормативной базы)

Краткое содержание: измерение шума качения шин на специальном стенде (или анализ нормативных документов). Построение спектров шума. Оценка соответствия нормативным требованиям.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие механизмы возникновения шума качения шин?
- Как влияет рисунок протектора на шум?
- Как влияет дорожное покрытие на шум шин?
- Каковы методы снижения шума качения?

Лабораторная работа №8. Исследование эффективности звукоизолирующих и вибродемпфирующих материалов

Краткое содержание: измерение вибрации и шума панели без обработки и с нанесённым вибродемпфирующим/звукоизолирующим материалом. Определение эффективности обработки.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие типы вибродемпфирующих материалов существуют?
- Как определяется эффективность вибродемпфирования?
- Какие типы звукоизолирующих материалов существуют?
- Как определяется индекс звукоизоляции?

Лабораторная работа №9. Верификация расчётной модели силового агрегата по результатам эксперимента

Краткое содержание: сравнение расчётных и экспериментальных частотных характеристик. Оценка погрешности. Корректировка расчётной модели. Валидация модели.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие параметры сравниваются при верификации?
- Как оценивается погрешность расчётной модели?
- Как корректируется модель по результатам эксперимента?
- Что такое валидация 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 анализа виброакустических характеристик разрабатываемого двигателя и разработки мероприятий по их снижению.

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 (9 лабораторных работ).
- Выполнение и защита всех практических занятий (не менее 80% заданий выполнены и защищены).
- Выполнение и защита индивидуального задания в рамках сквозного проекта (виброакустический анализ и разработка мероприятий) 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 анализ спектров).

Структура билета:

- **Вопрос 1** (Модуль 1): Основы виброакустики, источники и пути передачи, методы исследования, численное моделирование.
- **Вопрос 2** (Модуль 2): Экспериментальная диагностика, методы снижения, нормирование.
- **Задание 3**: Практическое задание (расчёт параметров виброгасителя, анализ спектров, оценка соответствия нормам).

7.3.2.3 Типовые экзаменационные билеты

Экзаменационный билет №1

Вопрос 1 (Модуль 1)

Силовой агрегат как источник виброакустического возбуждения. Причины возникновения вибраций. Виброакустические характеристики двигателя. Исследование «громких» излучающих поверхностей.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Методы снижения вибрации и шума в источнике возникновения и на путях передачи. Виброизоляция, вибродемпфирование, динамические виброгасители. Принципы действия, области применения.

Задание 3

Для системы с резонансной частотой f0 = 60 Гц и массой m = 100 кг рассчитать параметры динамического виброгасителя (массу и жёсткость) при условии, что масса гасителя составляет 10% от массы системы. Определить эффективность гашения.

Экзаменационный билет №2

Вопрос 1 (Модуль 1)

Пути передачи колебаний и шума от силового агрегата. Структурные и воздушные пути. Схемы подвески силового агрегата. Влияние характеристик опор на передачу вибрации.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Нормирование и сертификация по виброакустическим показателям. Правила ЕЭК ООН по внешнему и внутреннему шуму. Национальные стандарты. Методы сертификационных испытаний.

Задание 3

По заданным результатам измерений внешнего шума автомобиля (уровень звука на скорости 50 км/ч — 72 дБА, на скорости 80 км/ч — 78 дБА, на скорости 100 км/ч — 82 дБА) оценить соответствие требованиям Правил ЕЭК ООН №51-02 (норма — не более 74 дБА для данной категории). Сделать вывод.

Экзаменационный билет №3

Вопрос 1 (Модуль 1)

Численное моделирование в виброакустике. Конечно-элементное моделирование силового агрегата. Редуцирование расчётной модели. Валидация расчётных моделей по критерию частотного отклика (FRF).

Вопрос 2 (Модуль 2)

Виброакустическая диагностика технического состояния агрегатов транспорта. Диагностические признаки. Диагностирование двигателя внутреннего сгорания: оценка состояния цилиндропоршневой группы, газораспределительного механизма, подшипников.

Задание 3

На рисунке представлен спектр вибрации двигателя (осциллограмма). Определите характерные частотные составляющие. Какие неисправности могут быть выявлены при наличии пиков на частотах: f = 25 Гц (частота вращения коленчатого вала), f = 100 Гц (вторая гармоника), f = 200 Гц (частота зубцового зацепления шестерён ГРМ). Сделайте предположительный диагноз.

7.3.2.4 Полный перечень теоретических вопросов к экзамену по каждой теме

Модуль 1. Основы виброакустики. Источники и пути передачи. Методы исследования

1. Предмет и задачи виброакустики. Роль виброакустических исследований в обеспечении комфорта, долговечности и экологической безопасности транспортных средств.
2. Основные понятия: вибрация, шум, инфразвук, ультразвук. Классификация вибраций по способу передачи, частотному диапазону, источнику возникновения.
3. Силовой агрегат (СА) как сложный источник шума и вибраций. Причины возникновения вибраций: неуравновешенные силы и моменты инерции, газодинамические процессы, силовое взаимодействие в кинематических парах.
4. Виброакустические характеристики двигателя: уровни вибрации на опорах, структурный шум, излучаемый поверхностями. Исследование «громких» излучающих поверхностей силового агрегата.
5. Влияние режимов работы двигателя на виброакустические характеристики. Коробка передач и трансмиссия как источники вибрации.
6. Структурные пути передачи колебаний: передача вибрации через опоры силового агрегата на кузов. Воздушные пути передачи шума: акустическое излучение поверхностями СА и его распространение в моторном отсеке.
7. Схемы подвески силового агрегата: маятниковая, полумаятниковая, четырёхопорная. Влияние расположения опор и их упругодемпфирующих характеристик на передачу колебаний.
8. Формы твёрдотельных колебаний СА (6 форм) и их зависимость от схемы подвеса. Критерии оптимального расположения опор.
9. Экспериментальные методы исследования виброакустических характеристик: измерение вибрации и шума, определение частотных характеристик, модальный анализ.
10. Расчётно-экспериментальные методы: идентификация источников, определение путей передачи. Метод комплексных исследований колебаний силового агрегата.
11. Экспериментальное определение динамических характеристик опор СА на стенде и на автомобиле. Разработка требований к характеристикам опор.
12. Конечно-элементное моделирование (МКЭ) виброакустических процессов. Построение расчётных моделей силового агрегата, кузова, элементов подвески.
13. Задание граничных условий и нагрузок. Методы ускорения численного моделирования: редуцирование расчётной модели (сокращение числа степеней свободы).
14. Валидация расчётных моделей по критерию частотного отклика (FRF). Сравнение расчётных и экспериментальных данных. Прогнозирование виброакустических характеристик на этапе проектирования.

Модуль 2. Экспериментальная диагностика. Методы снижения. Нормирование

15. Методы и средства виброакустической диагностики технического состояния агрегатов транспорта. Диагностические признаки: уровни вибрации, спектральный состав, кепстральный анализ.

16. Диагностирование двигателя внутреннего сгорания: оценка состояния цилиндропоршневой группы, газораспределительного механизма, подшипников.

17. Диагностирование агрегатов трансмиссии (коробки передач, главной передачи). Методы безмоторных испытаний систем выпуска.

18. Обработка и анализ результатов измерений, построение спектров виброускорения и шума.

19. Шум качения шин: механизмы возникновения, частотные характеристики. Влияние конструкции шины (рисунок протектора, материал) на шумообразование.

20. Влияние дорожного покрытия на шум шин. Методы измерения шума шин. Нормирование шума шин. Методы снижения шума качения. Акустические свойства пористых дорожных покрытий.

21. Методы снижения вибрации и шума в источнике возникновения: уравновешивание двигателя, оптимизация рабочих процессов, применение малошумных конструкций.

22. Методы снижения на путях передачи: виброизоляция (оптимизация характеристик опор СА), вибродемпфирование (применение демпфирующих материалов и конструкций), динамические виброгасители.

23. Методы снижения воздушного шума: звукоизоляция, звукопоглощение, применение акустических экранов и кожухов.

24. Разработка технических решений, направленных на улучшение виброакустических характеристик силового агрегата. Примеры конструкций глушителей шума.

25. Нормативные документы, регламентирующие виброакустические характеристики транспортных средств. Правила ЕЭК ООН по внешнему и внутреннему шуму.

26. Национальные стандарты (ГОСТ Р). Нормирование вибрации на рабочем месте водителя. Методы сертификационных испытаний по шуму.

27. Перспективы ужесточения норм. Нормализация акустических свойств автомобилей в России.

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 компетенций УК-1, ОПК-6 и 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 (в седьмом семестре дисциплина изучается в рамках одного семестра и делится на два модуля). 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-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9 (знания в области планирования испытаний, подбора средств измерений, обработки данных, проведения испытаний).

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-3.7, 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-3.7, 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-3.7, 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-3.7, 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-3.7, 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 отчета по четвёртому этапу сквозного проекта. Оценка сформированности компетенций 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-3.7, ИПК-3.8, ИПК-3.9 в части теоретических основ виброакустики.

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-3.7, 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-3.7, 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 выполняет 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.