

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электромеханическое преобразование энергии и методы его исследования

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ШУМЫ И ВИБРАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.02.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	3 семестр - 16 часов;
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузьмичев В.А.
	Идентификатор	R46e52562-KuzmichevVA-fe7f2984

В.А. Кузьмичев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ширинский С.В.
	Идентификатор	Rac9f4bfa-ShirinskiiSV-a85b725f

С.В. Ширинский

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киселев М.Г.
	Идентификатор	R572ca413-KiselevMG-f37ee096

М.Г. Киселев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение источников вибрации и шума во вращающихся электрических машинах, методов расчета виброакустических характеристик различных типов электрических машин, способов снижения шума и вибрации электрических машин

Задачи дисциплины

- освоение основных понятий теории механических колебаний и распространения звуковых волн в упругих средах;
- изучение источников вибраций и шума во вращающихся электрических машинах;
- приобретение навыков расчета вибраций и шума в различных видах электрических машин;
- освоение экспериментальных методов измерения уровня вибраций и шума электрических машин;
- освоение способов снижения шума и вибрации вращающихся электрических машин;
- освоение навыков вибро- и шумодиагностики вращающихся электрических машин.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен ставить задачи и планировать исследования и разработки, выбирать методы экспериментальной и проектной деятельности, интерпретировать и представлять результаты научных исследований и разработок	ИД-1 _{ПК-1} Демонстрирует знание современных средств в области электромеханических преобразователей энергии и методы их исследования и разработки	знать: - основные нормативные документы, в которых представлены методики измерений, уровни шума и вибрации общепромышленных электрических машин.
ПК-1 Способен ставить задачи и планировать исследования и разработки, выбирать методы экспериментальной и проектной деятельности, интерпретировать и представлять результаты научных исследований и разработок	ИД-2 _{ПК-1} Критически анализирует свойства современных средств в области электромеханических преобразователей энергии и возможности методов их исследования и разработки	знать: - экспериментальные методы измерения уровней вибраций и шума.
ПК-2 Способен оптимально выбирать наиболее эффективные из известных и проектировать новые технические решения в области профессиональной	ИД-3 _{ПК-2} Применяет методы расчёта, проектирования и конструирования электромеханических систем и их элементов	знать: - методы расчета вибраций и шума электрических машин; - рекомендации по проектированию вращающихся электрических машин с низкими уровнями шума и вибрации. уметь: - определять уровни шума и вибрации

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
деятельности в рамках сформулированной задачи		спроектированной электрической машины.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электромеханическое преобразование энергии и методы его исследования (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать необходимо знать физику, теоретическую механику, высшую математику, электрические машины
- знать физические законы, лежащие в основе работы электрических машин
- знать принцип действия и конструкции электрических двигателей и генераторов
- знать основы механики материалов и конструкций
- знать проводниковые, магнитные и диэлектрические материалы, используемые в традиционной электротехнике
- уметь определять параметры и рассчитывать характеристики электрических машин
- уметь рассчитывать магнитные поля в электрических машинах
- уметь рассчитывать электромагнитные силы, действующие на элементы конструкции электрических машин

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин	10	3	4	-	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], стр 5-13 [2], 11-53 [3], 5-12</p>	
1.1	Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин	10		4	-	-	-	-	-	-	-	-	6		-
2	Магнитная составляющая	18		4	4	4	-	-	-	-	-	-	6		-

													занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 264-276 [3], 96-110
6	Колебания роторов	13	4	2	2	-	-	-	-	-	5	-	<u>Самостоятельное изучение</u>
6.1	Колебания роторов	13	4	2	2	-	-	-	-	-	5	-	<u>теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Колебания роторов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 246-257 [3], 110-139
7	Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения	11	4	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
7.1	Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения	11	4	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 225-243 [3], 142-148
8	Шум щеточного аппарата	9	4	-	-	-	-	-	-	-	5	-	<u>Самостоятельное изучение</u>
8.1	Шум щеточного аппарата	9	4	-	-	-	-	-	-	-	5	-	<u>теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Шум щеточного аппарата" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 151-153
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	16	16	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	16	16	2	-	-	-	0.5	77.5		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин

1.1. Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин

Основные понятия теории колебаний: гармонические колебания, система с сосредоточенными параметрами, система с распределенными параметрами, уравнения движения, резонанс, форма колебаний, демпфирование, вынужденные колебания. Природа звука. Основы акустики. Звуковое давление. Скорость звука. Восприятие звука. Источники звука. Звукопоглощение. Акустика помещений. Нормирование. Классификация источников вибрации и шума в электрических машинах. Способы разделения источников шума и вибрации различного происхождения. Силы, действующие на статора электрических машин. Методы их расчета. Связь между силами, вибрацией и шумом во вращающихся электрических машинах..

2. Магнитная составляющая вибрации и шума асинхронных машин

2.1. Магнитная составляющая вибрации и шума асинхронных машин

МДС обмоток статора и ротора. Магнитная проводимость и магнитное поле воздушного зазора. Радиальные и тангенциальные силы, создаваемые магнитными полями. Влияние на уровень вибрации и шума режима работы, числа пазов статора и ротора, насыщения стали, технологических и конструктивных факторов асинхронных электродвигателей. Методы проведения виброакустических испытаний асинхронных двигателей..

3. Магнитная составляющая вибрации и шума синхронных электрических машин

3.1. Магнитная составляющая вибрации и шума синхронных электрических машин

Вибрация и шум турбогенераторов и гидрогенераторов. Вибрация, возбуждаемая высшими гармониками полей статора и ротора. Вибрация статорных обмоток турбогенераторов и гидрогенераторов. Влияние насыщения, режима работы и эксцентриситета на вибрацию и шум синхронных машин. Формы статора, ротора и их влияние на виброакустические характеристики гидрогенераторов. Методы проведения вибрационных испытаний турбо- и гидрогенераторов. Магнитный шум индукторных генераторов..

4. Магнитная составляющая вибрации и шума машин постоянного тока

4.1. Магнитная составляющая вибрации и шума машин постоянного тока

Собственные колебания ярм. Расчет вибрации и шума при равномерном и эксцентричном зазоре под полюсом. Влияние нагрузки на магнитную составляющую шума. Скос пазов якоря. Влияние технологических отклонений на вибрацию и шум. Методы проведения виброакустических испытаний машин постоянного тока.

5. Аэродинамический шум

5.1. Аэродинамический шум

Источники аэродинамического шума. Шум вентилятора. Шум, возникающий при вращении ротора. Способы снижения аэродинамического шума. Применение глушителей шума. Аэродинамический шум машин различного исполнения.

6. Колебания роторов

6.1. Колебания роторов

Колебания вала с одной сосредоточенной массой. Определение критических скоростей ротора. Влияние различных факторов на критическую скорость вращения. Критические скорости второго рода. Уравновешивание роторов, виды дисбаланса. Способы балансирования ротора. Тепловой небаланс. Центровка линии вала. Крутильные колебания..

7. Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения

7.1. Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения

Источники вибрации подшипников качения, диагностические признаки неисправностей подшипников качения. Требования к конструкции и производству подшипников качения. Нормирование подшипников (классы малошумности).

8. Шум щеточного аппарата

8.1. Шум щеточного аппарата

Причины щеточного шума. Процессы, происходящие в скользящем контакте. Шум скользящего контакта. Диагностические признаки неисправностей щеточно-коллекторного узла..

3.3. Темы практических занятий

1. Расчет магнитной составляющей шума машин постоянного тока;
2. Расчет магнитной составляющей вибрации асинхронного двигателя;
3. Расчет магнитной составляющей шума асинхронного двигателя;
4. Расчет магнитной составляющей вибрации синхронных машин;
5. Расчет магнитной составляющей шума синхронных машин;
6. Расчет магнитной составляющей вибрации машин постоянного тока;
7. Колебания роторов.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование вибраций и шума двигателя постоянного тока;
2. Исследование вибраций и шума генератора постоянного тока;
3. Исследование вибраций и шума синхронного генератора;
4. Исследование вибраций и шума асинхронного двигателя.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин"

2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Магнитная составляющая вибрации и шума асинхронных машин"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Магнитная составляющая вибрации и шума синхронных электрических машин"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Магнитная составляющая вибрации и шума машин постоянного тока"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)								Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Знать:											
основные нормативные документы, в которых представлены методики измерений, уровни шума и вибрации общепромышленных электрических машин	ИД-1ПК-1	+	+								Контрольная работа/Расчет виброакустических характеристик асинхронного двигателя
экспериментальные методы измерения уровней вибраций и шума	ИД-2ПК-1			+							Контрольная работа/Расчет виброакустических характеристик синхронного гидрогенератора Контрольная работа/Расчет виброакустических характеристик синхронного турбогенератора
рекомендации по проектированию вращающихся электрических машин с низкими уровнями шума и вибрации	ИД-3ПК-2							+	+		Контрольная работа/Исследование вибраций и шума асинхронного двигателя Контрольная работа/Исследование вибраций и шума синхронного генератора
методы расчета вибраций и шума электрических машин	ИД-3ПК-2				+	+					Контрольная работа/Расчет виброакустических характеристик генератора постоянного тока
Уметь:											
определять уровни шума и вибрации спроектированной электрической машины	ИД-3ПК-2									+	Контрольная работа/Исследование вибраций и шума генератора постоянного тока Контрольная работа/Исследование вибраций и шума двигателя постоянного тока

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Исследование вибраций и шума асинхронного двигателя (Контрольная работа)
2. Исследование вибраций и шума генератора постоянного тока (Контрольная работа)
3. Исследование вибраций и шума двигателя постоянного тока (Контрольная работа)
4. Исследование вибраций и шума синхронного генератора (Контрольная работа)
5. Расчет виброакустических характеристик асинхронного двигателя (Контрольная работа)
6. Расчет виброакустических характеристик генератора постоянного тока (Контрольная работа)
7. Расчет виброакустических характеристик синхронного гидрогенератора (Контрольная работа)
8. Расчет виброакустических характеристик синхронного турбогенератора (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. В. П. Сергиенко, С. Н. Бухаров- "Вибрация и шум в нестационарных процессах трения", Издательство: "Белорусская наука", Минск, 2012 - (346 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=142279>;
2. Вибрации и шум электрических машин, трансформаторов и реакторов : учебное пособие по программе бакалавриата по всем профилям направления 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" и программам магистратуры всех профилей направления 13.04.02 "Энергетика и электротехника" / В. Т. Медведев, В. Я. Геча, В. С. Малышев, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") ; ред. В. Т. Медведев . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 426 с. - ISBN 978-5-7046-1960-4 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10489>;
3. Шубов, И. Г. Шум и вибрация электрических машин / И. Г. Шубов . – 2-е изд., перераб. и доп . – Л. : Энергоатомиздат, 1986 . – 208 с..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;

3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
4. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-207, Лекционная аудитория	стол, стул, шкаф, лабораторный стенд
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-207, Лекционная аудитория	стол, стул, шкаф, лабораторный стенд
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-209, Лаборатория электромеханики	стол, стул, доска меловая, лабораторный стенд
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-207, Лекционная аудитория	стол, стул, шкаф, лабораторный стенд
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-206.1, Преподавательская	парта со скамьей, стеллаж для хранения книг, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-122, Кладовая	стеллаж, шкаф, шкаф для документов

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Шумы и вибрации в электрических машинах

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Расчет виброакустических характеристик асинхронного двигателя (Контрольная работа)
- КМ-2 Расчет виброакустических характеристик синхронного турбогенератора (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчет виброакустических характеристик синхронного гидрогенератора (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчет виброакустических характеристик генератора постоянного тока (Контрольная работа)
- КМ-5 Исследование вибраций и шума асинхронного двигателя (Контрольная работа)
- КМ-6 Исследование вибраций и шума синхронного генератора (Контрольная работа)
- КМ-7 Исследование вибраций и шума генератора постоянного тока (Контрольная работа)
- КМ-8 Исследование вибраций и шума двигателя постоянного тока (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	4	4	8	8	12	12	16	16
1	Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин									
1.1	Общие сведения о механических колебаниях и их распространении в упругих средах. Источники вибрации и шума в электрических машинах. Общие подходы к расчету вибрации и шума вращающихся электрических машин		+							
2	Магнитная составляющая вибрации и шума асинхронных машин									
2.1	Магнитная составляющая вибрации и шума асинхронных машин		+							

3	Магнитная составляющая вибрации и шума синхронных электрических машин								
3.1	Магнитная составляющая вибрации и шума синхронных электрических машин		+	+					
4	Магнитная составляющая вибрации и шума машин постоянного тока								
4.1	Магнитная составляющая вибрации и шума машин постоянного тока				+				
5	Аэродинамический шум								
5.1	Аэродинамический шум				+				
6	Колебания роторов								
6.1	Колебания роторов					+	+		
7	Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения								
7.1	Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения					+	+		
8	Шум щеточного аппарата								
8.1	Шум щеточного аппарата							+	+
Вес КМ, %:		15	15	15	15	10	10	10	10