

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 27.07.2023 10:39:08  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Энергоэффективные интегри-  
рованные электроприводные  
системы»



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**

ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

---

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

**«АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ»**  
для подготовки магистров  
по направлению

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
по программе

«Энергоэффективные интегрированные электроприводные системы»

Санкт-Петербург

2022

## **ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**

Разработчики:

доцент, к.т.н. Добросок Н.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры САУ  
14.02.2022, протокол № 2-2/2022д.т.н., доцент, В.Н. Шелудько

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭА, 22.02.2022, протокол № 2

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## **1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**

Обеспечивающий факультет	ФЭА
Обеспечивающая кафедра	САУ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	2
Семестр	3

## Виды занятий

Лекции (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	52
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	92
Всего (академ. часов)	144

#### **Вид промежуточной аттестации**

Экзамен (курс) 2

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»**

Создание современных энергетических систем невозможно без анализа шума и вибрации, источниками которых являются различные механизмы и электроэнергетическое оборудование. Актуальность приведенной задачи растет с развитием интернета энергии и переходом к распределенным электроэнергетическим системам, содержащим кроме традиционных вращающихся генераторных установок возобновляемые источники электроэнергии, включенные в систему через собственные статические преобразователи энергии. Последнее ведет к необходимости решения новых вопросов электромагнитной совместимости и анализа влияния спектрального состава напряжения на расширение спектров вибровозмущающих сил электромагнитного происхождения.

В дисциплине рассматриваются основные физические характеристики шума и вибрации, математические модели распространения акустической волны в различных механических системах, основные источники вибрации и шума электрооборудования.

На примере электроэнергетической системы автономного объекта рассматриваются вопросы акустического проектирования и изучаются основные методы борьбы с шумом и вибрацией, методы расчета эффективности звукоизоляции и звукопоглощения и выбора амортизаторов. Рассматриваются системы активной борьбы с шумом и вибрации, как эффективные современные адаптивные системы автоматического управления.

### **SUBJECT SUMMARY**

### **«THE ACOUSTICAL DESIGN OF THE ELECTRICAL EQUIPMENTS»**

The creation of modern energy systems is impossible without the analysis of noise and vibration, the sources of which are various mechanisms and electric power equipment. The relevance of the above problem is growing with the development of the Internet of energy and the transition to distributed electric power systems containing, in addition to traditional rotating generator sets, renewable sources of electricity included in the system through its own static energy converters. The latter leads to the need to solve new issues of electromagnetic compatibility and analyze the effect of the spectral composition of voltage on the expansion of the spectra of vibration-disturbing forces of electromagnetic occurrence.

Thus, the discipline considers the basic physical characteristics of noise and vibration, mathematical models of acoustic wave propagation in various mechanical systems, the main sources of vibration and noise of electrical equipment.

Using the example of the electric power system of an autonomous facility, the issues of acoustic design are examined and the main methods of noise and vibration control, methods for calculating the efficiency of sound insulation and sound absorption and the choice of shock absorbers are studied. The systems of active noise and vibration control are considered as effective modern adaptive automatic control systems.

### **3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

#### **3.1 Цели и задачи дисциплины**

1. Целью дисциплины является формирование теоретических знаний об основных физических характеристиках вибрационных сигналов, математических моделей их возникновения и распространения в электрооборудовании и практических навыков применения основных методов проектирования адаптивных систем для активной борьбы с шумом и вибрацией.

2. Задачами дисциплины являются:

-формирование знаний специалиста в области шума и вибрации электрооборудования как необходимой части его профессиональной подготовки;

-формирование способности проводить обоснования проектных решений посредством освоения инженерных методов расчёта уровней шума и вибрации электрооборудования и эффективности применяемых средств борьбы с шумом и вибрацией, методов проектирования электроэнергетических систем с учётом их вибрационных характеристик.

3. В результате изучения дисциплины формируются знания:

-об основных источниках шума и вибрации в электроэнергетическом оборудовании;

-об основных физических характеристиках вибрационных сигналов;

-о методах борьбы с шумом и вибрацией;

-о современных методах и средствах измерения и анализа параметров шума и вибрации;

-о принципах построения систем диагностики состояния электроэнергетического оборудования.

4. В результате изучения дисциплины формируются умения:

-разделять источники шума и вибрации в электрооборудовании различной фи-

- зической природы;
- анализировать параметры шума и вибрации электроэнергетического оборудования;
- оценивать влияние вибраций различной физической природы на общий уровень вибраций электроэнергетического оборудования;
- осуществлять инженерный расчет уровней вибрации электромагнитного происхождения;
- осуществлять оценку эффективности применения основных методов борьбы с шумом и вибрации;
- использовать алгоритмы акустического проектирования электроэнергетического проектирования.

5. В результате изучения дисциплины формируются навыки:

- построения упрощённых математических моделей возникновения и распространения в электрооборудовании виброакустических сигналов электромагнитного происхождения;
- разработки и исследования с помощью пакетов прикладных математических программ адаптивных систем управления для активной борьбы с шумом и вибрацией.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Качество электроэнергии и энергосбережения в единых судовых электроэнергетических системах»
2. «Электромагнитная совместимость электрооборудования автономных объектов»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

### **3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-1	Способен формулировать цели и задачи научных исследований в области электротехники и электроэнергетики, выбирать методы и средства решения задач
ПК-1.3	<i>Владеет современными методами и средствами решения задач в области электротехники и электроэнергетики</i>
СПК-2	Способен выполнять научные исследования в области энергоэффективных интегрированных электроприводных систем
СПК-2.1	<i>Знает этапы жизненного цикла продукции, методическую и нормативно-техническую документацию в области энергоэффективных интегрированных электроприводных систем</i>

## **4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1 Содержание разделов дисциплины**

#### **4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Лек, ач</b>	<b>Пр, ач</b>	<b>ИКР, ач</b>	<b>СР, ач</b>
1	Введение	1	1		2
2	Тема 1. Основные физические характеристики виброакустических сигналов	1	4		8
3	Тема 2. Методы и средства измерения и анализа параметров шума и вибрации	2	4		10
4	Тема 3. Механические источники вибрации в электрооборудовании	2	4		16
5	Тема 4. Источники вибрации электромагнитного происхождения	2	4		8
6	Тема 5. Шум и вибрация электрооборудования	2	4		10
7	Тема 6. Методы снижения вибрации и шума	2	4		16
8	Тема 7. Вибропоглощение	2	4		8
9	Тема 8. Акустического проектирования энергетического оборудования автономного объекта на примере судна	2	4		12
10	Заключение	1	1	1	2
	Итого, ач	17	34	1	92
	Из них ач на контроль	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе				144/4

#### **4.1.2 Содержание**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
1	Введение	Предмет дисциплины и ее задачи, структура, содержание дисциплины, ее связь с другими дисциплинами учебного плана.
2	Тема 1. Основные физические характеристики виброакустических сигналов	Природа возникновения и распространения вибрации и шума. Единицы измерения. Математические модели вибрации на различных частотах. Методы исследования виброакустических характеристик электрооборудования посредством новых производственных технологий, в том числе современных пакетов программ: численные и аналитические подходы.

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
3	Тема 2. Методы и средства измерения и анализа параметров шума и вибрации	Учет особенности восприятия шума человеком при измерении. Предельные спектры и основы нормирования. Преобразование вибрации и шума в электрический сигнал. Основные характеристики измерительных приборов, область их применения.
4	Тема 3. Механические источники вибрации в электрооборудовании	Вибрация роторов электрических машин, передача вибрации на корпус, математические модели вибрации. Вибрация роторов в подшипниках. Влияние износа, дефектов изготовления и монтажа на вибрацию. Вибрационная диагностика.
5	Тема 4. Источники вибрации электромагнитного происхождения	Вибрация силовых токопроводов и электрических аппаратов. Вибрации, вызываемые магнитострикционными силами. Вибрация трансформаторов, машин постоянного и переменного тока. Расчет пространственно-временных распределений электромагнитных вибровозмущающих сил в воздушном зазоре машин переменного тока и их визуализация посредством современных прикладных пакетов программ.
6	Тема 5. Шум и вибрация электрооборудования	Структурный шум, шум аэродинамического происхождения, оценки шума вентиляторов и электрических машин. Влияние параметров электроэнергетической системы на шум и вибрацию судового электрооборудования. Обзор современных прикладных пакетов программ для исследования виброакустических характеристик по численным моделям.
7	Тема 6. Методы снижения вибрации и шума	Классификация методов борьбы с шумом и вибрацией. Проектирование электрооборудования с учетом требований по акустической экологии. Средства звукоизоляция и звукопоглощение, принципы расчета эффективности этих средств. Методы и средства снижения шума в судовых условиях.
8	Тема 7. Виброзоляция и вибропоглощение	Выбор амортизаторов судового электрооборудования и принципы расчета их эффективности.
9	Тема 8. Акустического проектирования энергетического оборудования автономного объекта на примере судна	Акустического проектирования энергетического оборудования с учетом требований по экологии и возможностей средств акустической защиты. Активные методы борьбы с шумом и вибрацией.
10	Заключение	Оценки экономической и технической эффективности борьбы с шумом и вибрацией. Направления развития методов борьбы с шумом и вибрацией электрооборудования.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

### **4.3 Перечень практических занятий**

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Автоматизация расчета основных характеристик шума и вибрации	2
2. Расчет амплитуды пульсирующего момента в асинхронном двигателе при несимметрии или несинусоидальности напряжения	4
3. Аналитический расчет уровней вибрации асинхронного двигателя возбуждаемых электромагнитными силами	4
4. Автоматизация инженерного расчета и анализа акустической эффективности звукопоглощающей облицовки и звукоизолирующего ограждения	4
5. Автоматизация расчета эффективности амортизаторов для электроэнергетического оборудования	4
6. Оценка влияние качества электрической энергии электроэнергетической системы на вибрацию электрооборудования	4
7. Технические средства и методы вибрационной диагностики	4
8. Активные методы виброгашения	4
9. Активные методы борьбы с шумом в звуковом диапазоне частот	2
10. Рассмотрение примера акустического проектирования энергетического оборудования	2
<b>Итого</b>	<b>34</b>

### **4.4 Курсовое проектирование**

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

### **4.5 Реферат**

Реферат не предусмотрен.

### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	15
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	22
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>92</b>

## **5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

<b>№ п/п</b>	<b>Название, библиографическое описание</b>	<b>К-во экз. в библ.</b>
<b>Основная литература</b>		
1	Карасев, Александр Васильевич. Акустическое проектирование электрооборудования [Текст] : учеб. пособие / А. В. Карасев, 2017. -31, [1] с.	20
2	Шум и вибрация электрооборудования [Электронный ресурс] : метод. указания / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2012. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
3	Карасев, Александр Васильевич. Активные методы борьбы с шумом и вибрацией [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. В. Карасев, 2014. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
4	Карасев, Александр Васильевич. Акустическое проектирование электрооборудования [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. В. Карасев, 2017. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
5	Зацепин, Анатолий Федорович. Акустические измерения [Электронный ресурс] : Учебное пособие Для СПО / Зацепин А. Ф. ; под ред. Щербинина В.Е., 2020. -211 с	неогр.
<b>Дополнительная литература</b>		
1	Шум и вибрация судового электрооборудования [Текст] : метод. указ. к практич. занятиям / Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина), 1991. -20 с.	10
2	Генкин, Михаил Дмитриевич. Вибрационная диагностика машин и механизмов [Текст] / М.Д.Генкин, А.Г.Соколова, 1987. -283 с. с.	5

### **5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины**

<b>№ п/п</b>	<b>Электронный адрес</b>
1	ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ. ТРУДЫ ВНИИЭМ. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОШУМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН <a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12196189">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12196189</a>
2	Липатов, М. Первый в России комплекс предиктивной аналитики для энергетического и промышленного оборудования / М. Липатов // Экспозиция Нефть Газ. – 2016. – № 3(49). – С. 82-83. <a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=25925522">https://elibrary.ru/item.asp?id=25925522</a>

### **5.3 Адрес сайта курса**

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=10207>

## **6 Критерии оценивания и оценочные материалы**

### **6.1 Критерии оценивания**

Для дисциплины «Акустическое проектирование электроэнергетического оборудования» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

#### **Экзамен**

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

## **Особенности допуска**

Допуск к экзамену происходит при одновременном выполнении следующих условий:

1. Посещение не менее 80 % лекционных занятий
2. Выполнение и защита 8 контрольных работ с индивидуальным вариантом на практических занятиях

Экзамен производится в устной форме по билетам, содержащим два теоретических вопроса. Время на подготовку к ответу ограничено.

## **6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **Вопросы к экзамену**

<b>№ п/п</b>	<b>Описание</b>
1	Активные методы борьбы с вибрацией. Пневматические амортизаторы
2	Активные методы борьбы с вибрацией. Структура активных виброзащитных систем
3	Вибрационная диагностика
4	Вибрация механического происхождения
5	Вибрация роторов электрических машин. Влияние дефектов изготовления и износа на вибрацию
6	Вибрация силовых токопроводов и электрических аппаратов
7	Вибрация электрических машин переменного тока
8	Вибрация электрических машин переменного тока, определяемая несимметрией фазного напряжения
9	Вибрация электрических машин переменного тока, определяемая несинусоидальностью напряжения
10	Вибрация электрических машин постоянного тока
11	Виброизоляция и вибропоглощение
12	Выбор и расчет амортизаторов для электроэнергетического оборудования
13	Единицы измерения шума и вибрации
14	Методы борьбы с шумом и вибрацией электроустановок
15	Методы борьбы с шумом. Звукопоглощение и звукоизоляция
16	Основные источники шума и вибрации
17	Основные характеристики вибрации
18	Основные характеристики шума
19	Основы нормирования шума и вибрации

20	Порядок акустического проектирования электроэнергетической установки автономного объекта
21	Применение средств акустической защиты
22	Принципы выбора и расчета эффективности амортизаторов
23	Системы активного гашения шума с адаптивным фильтром
24	Системы активного гашения шума. Акустические эффекты обратной связи
25	Системы активного гашения шума с прямой и обратной связью
26	Средства звукоизоляции и звукопоглощения
27	Шум электрооборудования аэродинамического происхождения и структурный шум
28	Средства и методы измерения шума и вибрации
29	Этапы проектирования сложных технических объектов и его электрооборудования
30	Электромеханические системы активного виброгашения электроэнергетической установки

## Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

**Дисциплина Акустическое проектирование электроэнергетического оборудования ФЭА**

1. Вибрация механического происхождения.

2. Применение средств акустической защиты.

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой САУ

В. Н. Шелудько

**Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ**

**Контрольная работа 1: РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА И ВИБРАЦИИ**

Задача 1.1: Вычислить результирующий уровень шума в помещении  $L_{\Sigma}$ ,

если в помещении находится 5 одинаковых источников шума  $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = 80$ .

**Задача 1.2:** Вычислить результирующий уровень шума в помещении  $L_{\Sigma}$ , если в помещении находится 4 разных источника шума  $L_1 = 90, L_2 = 94, L_3 = 97$  и  $L_4 = 93$ .

**Задача 1.3:** Вычислить результирующий уровень шума в помещении  $L_{\Sigma}$ , если в помещении находится 2 разных источника шума  $L_1 = 80$  и  $L_2 = 100$ .

**Задача 2:** Шум в помещении с одинаковым по уровню шума оборудованием составляет  $L_0 = 90$ . Часть оборудования отключили. Определить уровень шума в этом помещении после замены оборудования,  $L_k$ , если, например, отключена половина оборудования ( $k = 0.5$ ).

**Задача 3:** Первоначальный уровень шума в помещении  $L_0 = 110$ . Поставим новое оборудование, такое, что шум десяти новых машин ( $k = 10$ ) равен шуму одной старой. Определить уровень шума в помещении при новом оборудовании  $L_k$ .

**Задача 4:** Задан уровень шума  $L_1 = 80$ , измеренный на расстоянии  $R_1 = 1$  от источника. Необходимо найти уровень шума  $L_2$  на расстоянии  $R_2 = 10$  для того же источника.

**Контрольная работа 2: РАСЧЕТ АМПЛИТУДЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО МОМЕНТА В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ**

*Исходные данные:*

- амплитуда составляющих прямой и обратной последовательностей фазных напряжений:  $U_1 = 220, U_2 = 4.4$ ;
- частота напряжения питания  $f_1 = 50$ ;
- скольжение  $s = 0.05$ ;

- число пар полюсов  $p = 2$ ;
- параметры схемы замещения АД: активное и индуктивное сопротивления рассеяния обмотки статора  $r_{st} = 2.4$ ,  $x_{st} = 2.8$ ; приведенные активные и индуктивные сопротивления рассеяния обмотки ротора  $r_{rt} = 1.35$ ,  $x_{rt} = 3.45$ ; активное и индуктивное сопротивление контура намагничивания  $r_m = 0$ ,  $x_m = 50$ .

*Найти:*

Амплитуду пульсирующего момента  $M$ , Нм; коэффициент обратной последовательности напряжения  $K_{..}$ .

**Контрольная работа 3: РАСЧЕТ АМПЛИТУДЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО МОМЕНТА В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИЯ**

*Исходные данные:*

- гармонические составляющие фазного напряжения питания:  $U_1 = 220$ ,  $U_5 = 44$ ,  $U_7 = 31.4$ ,  $U_{11} = 20$ ,  $U_{13} = 16.9$ ,  $U_{17} = 13.1$ ,  $U_{19} = 7.8$ ;
- индуктивные сопротивления упрощенной схемы замещения АД для высших гармоник или данные для их расчета,  $x_{st} = 2.8$ ,  $x_{rt} = 3.45$ ;
- частота напряжения питания  $f_1 = 50$ ;
- число пар полюсов  $p = 2$ .

*Найти:*

Амплитуды пульсирующих моментов при несинусоидальности напряжения питания  $M$ , Нм, на соответствующих частотах:  $\omega_6 = 6\omega_1$ ,  $M_{6\omega_1}$ ;  $\omega_{12} = 12\omega_1$ ,  $M_{12\omega_1}$ ;  $\omega_{18} = 18\omega_1$ ,  $M_{18\omega_1}$ .

**Контрольная работа 4: РАСЧЕТ ПЕРЕМЕННЫХ РАДИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ**

*Исходные данные:*

- частота напряжения питания  $f_1 = 50$ ;
- число пар полюсов  $p = 2$ ;
- число эффективных проводников в фазе обмотки статора  $w = 10$ ;
- обмоточный коэффициент  $K = 0.9$ ;
- коэффициент Картера  $K_c = 1.2$  ;
- величина воздушного зазора  $\delta = 0.2$ ;
- амплитуды намагничивания тока из схемы замещения асинхронного двигателя для напряжения прямой и обратной последовательностей  $I_{01} = 10$ ,  $I_{02} = 1$  или данные для их расчета для случая несимметричного напряжения;
  - гармонические составляющие фазного тока статора:  $I_1 = 5A$ ,  $I_5 = 3A$ ,  $I_7 = 2A$ ,  $I_{11} = 1A$ ,  $I_{13} = 0.5A$  - для случая несинусоидального напряжения.

*Найти:*

Амплитуды силовых волн  $P_q$ ,  $P'_{qq}$ ; частоты силовых волн  $\omega_q$ ,  $\omega'_{qq}$ ; порядки силовых волн  $r_q$ ,  $r'_{qq}$ .

### **Контрольная работа 5: РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО УРОВНЯ ВИБРАЦИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ВОЗБУЖДАЕМОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ СИЛАМИ**

*Исходные данные:*

- вынуждающие силы и моменты (по результатам расчета проверочные работы с 2 по 4): амплитуда пульсирующего момента  $M$ , Нм; амплитуда радиальной электромагнитной силы, действующей на единицу площади,  $P_q$ ; угловая частота пульсирующего момента  $\omega_m$ , рад/с; угловая частота радиальной силы  $\omega_q$ , рад/с;

- массогабаритные характеристики асинхронного двигателя: масса статора  $M_s = 40$ ; модуль упругости материала статора  $E = 2 \cdot 10^{-11} / 2$ ; внутренний радиус статора  $R = 0.05$ ; наружный радиус статора  $R = 0.1$ ; высота спинки статора  $h = 0.018$ ; длина статора  $l = 0.08$ ; средний радиус спинки статора  $R = 0.07$ ;

- характеристики крепления асинхронного двигателя к неподвижному фундаменту: коэффициенты жесткости виброизоляторов в направлении осей Y и Z – соответственно  $C_y = 0.35 \cdot 10^6 /$  и  $C_z = 0.65 \cdot 10^6 /$ ; расстояние между амортизаторами  $R = 0.2$ , м; коэффициент механического сопротивления поступательному движению  $R_r = 0$ ; количество амортизаторов  $n = 4$ ; угол между направлением действия силы с осью Z –  $\psi = 0$ .

*Найти:*

Амплитуды колебания асинхронного двигателя от действия приложенных момента и силы  $Z_m$ ,  $Z_p$  и соответствующие уровни колебаний  $L_m$ ,  $L_p$ .

### **Контрольная работа 6: ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ АМОРТИЗАТОРОВ**

*Исходные данные:*

- масса агрегата  $M = 2280$ ;
- геометрические размеры ШхД: 900x320 мм; возвышение центра масс над уровнем основания  $z = 645$ мм;
- моменты инерции агрегата по осям  $J_x = 260 \cdot 2$ ,  $J_y = 1070 \cdot 2$ ,  $J_z = 930 \cdot 2$ ;
- амплитуда возмущающей силы  $P_z = 16$ ;
- частота возмущающей силы  $f_P = 100$  Гц;
- справочные данные по амортизаторам.

*Найти:*

Частоты собственных колебаний: поступательного движения вдоль осей  $f_x$ ,  $f_y$  поворотные  $f_x$ ,  $f_y$ ,  $f_z$ , а также частоты сдвига и поворота в соответствующих

плоскостях; статическую посадку амортизаторов при действии постоянной силы по оси  $Z$ ,  $\Psi$ ; эффективность виброизоляции. Для ответственных агрегатов необходим анализ эффективности работы амортизатора  $L$  в различных условиях эксплуатации.

### **Контрольная работа 7: РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ**

*Исходные данные:*

- геометрические размеры помещения:  $A = 10, B = 10, H = 5$  – длина, ширина, высота соответственно;
- реверберационные коэффициенты звукопоглощения конструкций в октавной полосе частот:  $\alpha(63) = 0.1, \alpha(125) = 0.2, \alpha(250) = 0.7, \alpha(500) = 0.8, \alpha(1000) = 0.7, \alpha(2000) = 0.8, \alpha(4000) = 0.75, \alpha(8000) = 0.78$ ;
- исходный спектр шума в помещении:  $L_p(63) = 82, L_p(125) = 88, L_p(250) = 95, L_p(500) = 90, L_p(1000) = 91, L_p(2000) = 98, L_p(4000) = 81, L_p(8000) = 73$ .

*Найти:*

Спектр шума в помещении после проведения акустической обработки  $L_r(\omega)$ .

### **Контрольная работа 8: РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕГО ОГРАЖДЕНИЯ**

*Исходные данные:*

- геометрические размеры помещения, подлежащего изоляции:  $A = 15, B = 8, H = 4$  – длина, ширина, высота соответственно;
- площадь звукоизолирующего ограждения  $S_0 = 32^2$ ;
- октавные уровни звукового давления в шумном помещении:  $L_p(125) = 88, L_p(250) = 95, L_p(500) = 90, L_p(1000) = 91, L_p(2000) = 98, L_p(4000) = 81, L_p(8000) = 73$ ;

- допустимые уровни звукового давления  $L_n(\omega)$  согласно справочникам (ПС-45, санитарные нормы);
- звукоизолирующая способность различных одностенных конструкций в зависимости от толщины  $R_0(\omega)$  согласно справочникам.

*Найти:*

Выбрать материал конструкции, который обеспечивает выполнение нормативных требований по шуму, и рассчитать уровень шума в помещении после установки выбранной звукоизолирующей конструкции  $L_r(\omega)$ , а также исследовать влияние исходных данных и выбранного звукоизолирующего материала на конечный результат.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### **6.3 График текущего контроля успеваемости**

<b>Неделя</b>	<b>Темы занятий</b>	<b>Вид контроля</b>
3	Тема 1. Основные физические характеристики виброакустических сигналов	Контрольная работа
5	Тема 4. Источники вибрации электромагнитного происхождения	Контрольная работа
6	Тема 4. Источники вибрации электромагнитного происхождения	Контрольная работа
7	Тема 5. Шум и вибрация электрооборудования	Контрольная работа
9	Тема 6. Методы снижения вибрации и шума	Контрольная работа
11	Тема 7. Вибропоглощение	Контрольная работа
12	Тема 7. Вибропоглощение	Контрольная работа
14	Тема 7. Вибропоглощение	Контрольная работа

### **6.4 Методика текущего контроля**

#### **на лекционных занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

#### **на практических (семинарских) занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий) и решение 8 контрольных работ с индивидуальными вариантами, оценка за которые выставляется по системе "зачтен/не зачлено", по результатам которого студент получает допуск на экзамен. Оценка за контрольную работу выставляется в соответствии со следующими критериями:

"зачленено" - студент применяет правильный алгоритм решения задачи контрольной работы, допускаются незначительные вычислительные ошибки; умеет правильно оценить результаты решения задачи контрольной работы, обосновать качественное соответствие результатов теоретическим ожиданиям;

"не зачленено" - студент применяет неверный алгоритм решения или допущены грубые вычислительные ошибки; не может корректно оценить результаты вычислений.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

## **7 Описание информационных технологий и материально-технической базы**

<b>Тип занятий</b>	<b>Тип помещения</b>	<b>Требования к помещению</b>	<b>Требования к программному обеспечению</b>
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, меловая или маркерная доска, компьютер.	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Adobe Acrobat Reader
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, количество персональных компьютеров – в соответствии с контингентом	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Adobe Acrobat Reader; 4) MatLab R2014b и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## **ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>