

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«___» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1156441	Вибрационная надежность и диагностика энергоустановок

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели	Код ОП 1. 13.04.03/33.01
Направление подготовки 1. Энергетическое машиностроение	Код направления и уровня подготовки 1. 13.04.03

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Недошивина Татьяна Анатольевна	кандидат технических наук, доцент	Доцент	турбин и двигателей

Согласовано:

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Вибрационная надежность и диагностика энергоустановок

1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль содержит дисциплину, ориентированную на углубленное изучение дополнительных разделов динамики и прочности энергоустановок, общих вопросов виброметрии, вибрационной надежности и диагностики турбомашин и двигателей. Рассматриваются основные неисправности роторных машин и их диагностические признаки. Излагаются методы диагностики и прогнозирования технического состояния турбомашин и двигателей внутреннего сгорания. Особое внимание уделено изучению специальных вопросов вибрационной надежности турбомашин, средств и методов виброналадки.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Вибрационная надежность и диагностика энергоустановок	6
ИТОГО по модулю:		6

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	<ol style="list-style-type: none">1. Эксплуатация газотурбинных установок2. Моделирование и эксплуатация поршневых двигателей3. Эксплуатация паротурбинных установок

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Вибрационная надежность и диагностика	ОПК-3 - Способен планировать и проводить комплексные исследования и	У-2 - Обоснованно выбрать необходимую аппаратуру и метод исследования для

энергоустановок	<p>изыскания для решения инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>	<p>решения инженерных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания экспериментальные комплексные научно-технические исследования и изыскания для решения инженерных задач в области профессиональной деятельности, включая обработку, интерпретацию и оформление результатов</p>
	<p>ОПК-6 - Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта</p> <p>(Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели)</p>	<p>З-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>З-2 - Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>У-2 - Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры</p> <p>П-1 - Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p>
	<p>ПК-3 - Способен применить Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением - планировать мероприятия, организовать выполнение плана, контролировать выполнение плана при</p>	<p>З-1 - Положения и требования законодательства Российской Федерации в области промышленной безопасности опасных производственных объектов</p> <p>З-2 - Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением</p> <p>З-11 - Привести примеры негативного влияния конфликтных ситуаций на качество трудовой жизни коллектива</p> <p>У-1 - Оценивать риски и определять меры по обеспечению промышленной</p>

	<p>вводе в эксплуатацию, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, техническом перевооружении, консервации и ликвидации объекта на ТЭС, ТЭЦ, АЭС</p>	<p>безопасности при выполнении работ и ведении технологических процессов</p> <p>У-12 - Оценивать последствия конфликтных ситуаций и выбирать эффективные способы предотвращения и разрешения трудовых конфликтов</p> <p>П-1 - Владеет методами сбора данных и оказание методической помощи структурным подразделениям в идентификации опасностей, разработке перечня опасностей и оценке рисков</p> <p>П-2 - Владеет методами подготовки материалов для отчетов, докладов, аналитических справок по вопросам обеспечения промышленной безопасности</p> <p>П-8 - Предлагать способы эффективного поведения в разнообразных ситуациях трудовых конфликтов</p>
	<p>ПК-5 - Способен разработать мероприятия по обеспечению выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту, диагностическому обследованию оборудования ГТУ и ГПА</p>	<p>З-1 - Устройство и работу оборудования энергоустановок</p> <p>З-2 - Задачи эксплуатации и требования по организации эксплуатации оборудования обеспечивающие его вибрационную надежность</p> <p>З-3 - Основные понятия о характерных неисправностях и аварийных ситуациях при работе оборудования связанных с вибрацией</p> <p>З-4 - Основные. методы определения технического состояния по вибрационной надежности оборудования энергоустановок</p> <p>З-5 - Привести примеры негативного влияния конфликтных ситуаций на качество трудовой жизни коллектива</p> <p>У-1 - Самостоятельно выполнять измерения вибрации</p> <p>У-2 - Осуществлять контроль работы оборудования</p> <p>У-3 - Предпринимать действия по предупреждению или устранению неисправностей, аварийных ситуаций</p>

		<p>У-4 - Анализировать причины отклонения эксплуатационных параметров</p> <p>У-5 - Оценивать последствия конфликтных ситуаций и выбирать эффективные способы предотвращения и разрешения трудовых конфликтов</p> <p>П-1 - Первичный опыт применения способов устранения недостатков, неисправностей, аварийных ситуаций для ГТУ и ГПА</p> <p>П-2 - Предлагать способы эффективного поведения в разнообразных ситуациях трудовых конфликтов</p> <p>Д-1 - Иметь развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности</p> <p>Д-2 - Проявлять настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход</p>
	<p>ПК-6 - Способен разрабатывать мероприятия по повышению эффективности работы ГТУ и ГПА, определять способы контроля результатов, планировать их выполнение, побуждать других достижению общей цели</p>	<p>3-19 - Современные тенденции и методы повышения эффективности, надежности и экологической безопасности энергоустановок</p> <p>3-20 - Основные понятия теории колебаний и виброметрии; динамики энергоустановок</p> <p>3-21 - Свойства материалов, используемых в энергоустановках при статическом и переменных напряжениях</p> <p>3-22 - Привести примеры негативного влияния конфликтных ситуаций на качество трудовой жизни коллектива</p> <p>У-5 - Выполнять аналитические расчеты и графический анализ данных</p> <p>У-10 - Выполнять аналитические расчеты и проводить графический анализ данных по вибрации ГТУ и ГПА</p> <p>У-11 - Анализировать информацию, получаемую о ГТУ и ГПА и принимать на ее основе обоснованные технические решения по вибрационной надежности</p> <p>У-12 - Осуществлять статистическую обработку результатов исследований вибрационной надежности ГТУ и ГПА</p>

		<p>У-13 - Обобщать полученные результаты исследований вибрационной надежности ГТУ и ГПА</p> <p>У-14 - Производить расчеты колебаний валопроводов ГТУ и ГПА</p> <p>У-15 - Оценивать последствия конфликтных ситуаций и выбирать эффективные способы предотвращения и разрешения трудовых конфликтов</p> <p>П-1 - Владеет методиками определения технического состояния ГТУ и ГПА</p> <p>П-2 - Владеет способами устранения недостатков, неисправностей, аварийных ситуаций</p> <p>П-6 - Владеет методиками определения эффективности работы ГТУ и ГПА</p> <p>П-7 - Предлагать способы эффективного поведения в разнообразных ситуациях трудовых конфликтов</p> <p>Д-1 - Иметь развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности</p> <p>Д-2 - Проявлять настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход</p>
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной и заочной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Вибрационная надежность и диагностика
энергоустановок

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Недошивина Татьяна Анатольевна	кандидат технических наук, доцент	Доцент	турбин и двигателей

Рекомендовано учебно-методическим советом института Уральский энергетический

Протокол № 5 от 27.12.2022 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Недошивина Татьяна Анатольевна, Доцент, турбин и двигателей

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение в дисциплину. Динамические напряжения и динамическая прочность	
P1, T2	Прочность. усталость, запасы прочности	Механические характеристики конструкционных материалов. Свойства материалов при переменных напряжениях. Усталость. Оценка прочности. Запасы прочности. Запасы прочности при переменных напряжениях. Запасы усталостной прочности при работе на различных режимах.
P2	Основы теории колебаний и виброметрии	
P2, T1	Кинематика колебательного движения	Свободные колебания. Вынужденные колебания. Гармонические колебания, векторная форма представления колебаний. Сложение колебаний. Гармонический анализ. Механические колебания(вибрация). Затухающие и вынужденные колебания.
P2, T2	Колебания систем. Уравнение движения системы	Общее уравнение движения системы с одной степенью свободы. Уравнение свободных колебаний системы с трением. Вынужденные колебания под воздействием гармонической силы. Колебание систем с n степенями свободы

P2, T3	Вибрация машин и ее последствия	Измерение вибрации машин. Датчики и приборы. Контроль вибрации турбомашин и нормы на вибрацию.
P3	Вибрация лопаток турбомашин	
P3, T1	Собственные и вынужденные колебания лопаток	Собственные частоты и формы колебаний лопаток и пакетов. Возмущающие силы в турбомашинах. Вынужденные колебания лопаток. Самовозбуждающиеся колебания лопаток. Влияние разночастотности лопаток на надежность облопачивания.
P3, T2	Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата	Методы обеспечения вибрационной надежности лопаточного аппарата. Вибрационная отстройка лопаточного аппарата.
P3, T3	Вибрационные исследования лопаточного аппарата	Исследования вибрационной надежности лопаточного аппарата в лабораторных и эксплуатационных условиях. Тензометрирование и термометрирование лопаточного аппарата. Дискретно-фазовый метод исследования вибрации лопаток.
P4	Динамика роторов и роторных систем. Динамическая надежность турбомашин	
P4, T1	Вибрация машин. Причины, вызывающие колебания роторов	Причины, вызывающие колебания роторов. Вибрация с оборотной частотой, высокочастотная и низкочастотная вибрации.
P4, T2	Динамика роторов и валопроводов	Динамика одномассового ротора. Критическая частота вращения. Влияние жесткости опор. Динамика многомассового ротора. Критические частоты вращения и формы движения. Динамика многоопорных роторных систем (валопровода). Критические частоты вращения валопровода.
P4, T3	Автоколебания	Самовозбуждающиеся колебания. Силы возбуждения. Устойчивость роторной системы.
P4, T4	Балансировка жестких и гибких роторов. Балансировка валопроводов в собственных подшипниках	Балансировка роторов и валопроводов. Уравновешивание деталей ДВС. Статическая и динамическая балансировка. Измерение вибрации и угла. Балансировка жестких роторов. Низкочастотная балансировка. Балансировка гибких роторов. Высокочастотная балансировка и балансировка в диапазоне рабочих частот вращения. Балансировка по собственным формам и по коэффициентам влияния. Балансировка агрегатов в собственных опорах.
P4, T5	Балансировочное оборудование	Балансировочное оборудование: балансировочные станки, разгонно-балансировочные стенды, балансировочные приборы. Использование ЭВМ и прикладные программные продукты.
P4, T6	Вибрационные исследования. Обеспечение вибрационной надежности турбомашин	Постановка исследований и методы обеспечения динамической надежности роторных машин и других энергоустановок. Примеры из практики виброналадки турбоагрегатов и вспомогательного оборудования.

P5	Элементы теории надежности	
P5, T1	Показатели надежности	Основные понятия и термины. Критерии состояний. Показатели надежности: безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости. Комплексные показатели надежности.
P5, T2	Правила надежности	Общие зависимости теории надежности. Причины отказов. Правила надежности при проектировании, производстве и испытаниях, эксплуатации и ремонте.
P6	Основы теории технической диагностики	
P6, T1	Цели технической диагностики	Назначение и цели технической диагностики. Основные понятия и термины. Методы диагностики.
P6, T2	Экспертные системы ТД	Экспертные системы. Системы технической диагностики.
P6, T3	Повреждение основных деталей и узлов энергомашин, их диагностирование	Основные виды повреждений роторов, лопаточного аппарата, подшипников, корпусных деталей. Диагностирование повреждений в процессе эксплуатации и ремонта.
P5, T3	Основы промышленной безопасности	Понятие промышленной безопасности. Требования к промышленной безопасности. Регламентирующие документы.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Вибрационная надежность и диагностика энергоустановок

Электронные ресурсы (издания)

1. ; Безопасность и надежность технических систем : учебное пособие.; Логос, Москва; 2004; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84762> (Электронное издание)
2. , Воропай, Н. И.; Надежность систем энергетики. (Сборник рекомендуемых терминов).; Энергия, Москва; 2007; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=58376> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Костюк, А. Г.; Динамика и прочность турбомашин : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. "Энергомашиностроение".; МЭИ, Москва; 2007 (21 экз.)
2. Недошивина, Т. А., Урьев, Е. В.; Динамическая надежность и диагностика турбин : учебное пособие.; УрФУ, Екатеринбург; 2010 (20 экз.)
3. , Форсайт, Р., Стефанюк, В. Л., Рудакова, С. И.; Экспертные системы. Принципы работы и примеры; Радио и связь, Москва; 1987 (2 экз.)

4. Нейлор, К., Слепов, Н. Н.; Как построить свою экспертную систему; Энергоатомиздат, Москва; 1991 (3 экз.)

5. Недошивина, Т. А., Мурманский, Б. Е.; Вибрационная надежность энергетических установок : учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 13.04.03 - Энергетическое машиностроение.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2021 (6 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

ANSYS Academic Teaching Introductory v 16.2 (учебная версия) и др

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1) eLibrary <http://elibrary.ru/>

2) Scopus <http://www.scopus.com/>

3) Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

4) EBSCO publishing <http://search.ebscohost.com/>

5) ЭБС Университетская библиотека онлайн <http://www.biblioclub.ru/>

6) Издательство "Лань" <http://e.lanbook.com/ook.com/>

7) Поисковая система Google <https://www.google.com/>

8) Поисковая система Yandex <https://yandex.ru/>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Вибрационная надежность и диагностика энергоустановок

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	ANSYS Academic Teaching Mechanical and CFD (25 tasks) ANSYS Academic Research Mechanical and CFD (1 task) Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		<p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p>	<p>ANSYS Academic Research HF 1 task</p> <p>ANSYS Academic Teaching Mechanical and CFD (25 tasks)</p>
3	Лабораторные занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p>	<p>ANSYS Academic Research Electronics Thermal (1 task)</p> <p>ANSYS Academic Teaching Mechanical and CFD (25 tasks)</p>
4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	Не требуется
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p>	Не требуется

		<p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	
6	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>ANSYS Academic Research Electronics Thermal (1 task)</p> <p>ANSYS Academic Teaching Mechanical and CFD (25 tasks)</p>