

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

<b>Код модуля</b>	<b>Модуль</b>
1156554	Динамика и прочность

**Екатеринбург**

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Газовые, паровые турбины и двигатели внутреннего сгорания	<b>Код ОП</b> 1. 13.03.03/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Энергетическое машиностроение	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 13.03.03

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Плотников Петр Николаевич	доктор технических наук, профессор	Профессор	турбин и двигателей

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Динамика и прочность

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль «Динамика и прочность» направлен на изучение конструкций деталей и узлов турбомашин, расчетных и экспериментальных методов анализа прочностного и вибрационного состояния деталей и узлов паротурбинных и газотурбинных установок в процессе их жизненного цикла. Модуль содержит дисциплины «Динамика и прочность турбомашин», «Проект по модулю Динамика и прочность».

## 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	Динамика и прочность турбомашин	8
2	Проект по модулю "Динамика и прочность турбомашин"	1
ИТОГО по модулю:		9

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. Основы конструирования тепловых двигателей
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	1. Расчет и проектирование паровых турбин 2. Расчет и проектирование газовых турбин

## 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
Динамика и прочность турбомашин	ПК-5 - Способен принимать обоснованные решения на стадии проектирования деталей, узлов и турбоустановок,	З-13 - Изложить основные терминологические понятия, связанные с вопросами динамики и прочности деталей турбомашин

	<p>разработки тепловых схем турбомашин, используя методы тепловых и газодинамических расчетов и САПР</p>	<p>З-14 - Определить методику выбора материалов и назначения величин допускаемых напряжений</p> <p>З-15 - Описать конструктивные элементы деталей, их связи с общей конструкцией агрегата, а также условия работы деталей турбомашин и важнейшие факторы, определяющие их надежность</p> <p>У-11 - Решать задачи прочности и надежности деталей турбомашин с помощью прикладных программ на ПК</p> <p>У-12 - Правильно выбирать материалы и назначать допускаемые напряжения для конкретных деталей турбомашин</p> <p>У-13 - Выбирать методы расчета распределения напряжений и деформаций, в том числе при колебаниях деталей</p> <p>П-4 - Применять современные программные продукты, позволяющие моделировать и управлять прочностью и надежностью деталей турбомашин</p>
	<p>ПК-6 - Способен выполнять экспериментальные исследования и испытания турбоустановок, проводить измерения физических величин, а также разработку технических заданий инженерных проектов</p>	<p>З-3 - Характеризовать методы экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния деталей и узлов турбомашин</p> <p>У-4 - Анализировать результаты расчетных и экспериментальных исследований и разрабатывать рекомендации по улучшению эксплуатационных показателей надежности оборудования</p> <p>П-4 - Использовать методы расчетного и экспериментального исследований динамики и прочности основных деталей турбомашин</p>
<p>Проект по модулю "Динамика и прочность турбомашин"</p>	<p>ПК-5 - Способен принимать обоснованные решения на стадии проектирования деталей, узлов и турбоустановок, разработки тепловых схем турбомашин, используя методы тепловых и</p>	<p>З-14 - Определить методику выбора материалов и назначения величин допускаемых напряжений</p> <p>З-16 - Характеризовать основные методы расчета распределения напряжений и деформаций, в том числе при колебаниях деталей</p> <p>У-14 - Анализировать результаты расчетных и экспериментальных исследований и разрабатывать рекомендации по улучшению</p>

	газодинамических расчетов и САПР	<p>эксплуатационных показателей надежности оборудования</p> <p>П-4 - Применять современные программные продукты, позволяющие моделировать и управлять прочностью и надежностью деталей турбомашин</p>
--	----------------------------------	---

### **1.5. Форма обучения**

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

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Динамика и прочность турбомашин**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Плотников Петр Николаевич	доктор технических наук, профессор	Профессор	турбин и двигателей

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Уральский энергетический**

Протокол № 112 от 18.06.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Плотников Петр Николаевич, Профессор, 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	Общие положения. Прочность материалов.	
P1.T1	Условия работы деталей турбомашин	Особенности условий работы материалов и деталей турбомашин. Виды воздействий. Законы деформирования. Виды напряженно-деформированных состояний деталей турбомашин. Критерии прочности деталей турбомашин. Надежность турбомашин.
P1.T2	Материалы деталей турбомашин и их свойства	Требования к материалам деталей турбомашин. Выбор материалов деталей турбин и компрессоров. Механические характеристики материалов. Выбор допускаемых напряжений и запасов прочности материалов в турбостроении.
P1.T3	Особенности расчетов деталей турбомашин	Расчеты термонапряженных деталей (торможение смежными деталями и смежными волокнами). Усталость, термоусталость и малоцикловая усталость. Ползучесть и длительная прочность материалов. Релаксация напряжений. Концентрация напряжений в деталях турбомашин и меры ее уменьшения. Эрозия материалов в турбомашинах.
P2	Рабочие лопатки турбомашин. Расчеты на прочность.	

<b>P2.T1</b>	Конструкции лопаток.	Конструкции рабочих лопаток. Основные элементы лопатки, расчетные сечения и размеры. Геометрические характеристики сечений лопаток и их расчет.
<b>P2.T2</b>	Расчет лопаток на растяжение	Расчет рабочих лопаток на растяжение под действием центробежных сил (для лопаток постоянного и переменного по высоте сечения). Вытяжка лопаток.
<b>P2.T3</b>	Расчет лопаток на изгиб.	Газодинамические силы и изгибающие моменты, действующие на лопатки. Расчет напряжений изгиба. Суммарные напряжения изгиба и растяжения. Наиболее нагруженные точки поперечных сечений рабочих лопаток.
<b>P2.T4</b>	Расчет лопаток на кручение и изгиб. Термонапряжения	Изгиб и кручение лопаток под действием центробежных сил инерции. Температурные напряжения в лопатках.
<b>P2.T5</b>	Расчет на прочность хвостовиков рабочих лопаток	Расчет на прочность Т-образного, вильчатого, елочного, хвостовиков рабочих лопаток. Концентрация напряжений в хвостовиках. Расчет на прочность хвостовика типа «ласточкин хвост», зубчикового хвостовика рабочей лопатки.
<b>P2.T6</b>	Расчет на прочность бандажей рабочих лопаток	Расчет на прочность ленточного бандажа и шипа лопатки, Расчет бандажной и антивибрационной полки рабочей лопатки.
<b>P3</b>	Роторы и диски турбомашин	
<b>P3.T1</b>	Классификации и конструкции	Классификации и конструкции роторов турбомашин. Конструкции дисков турбин, их классификации. Автофретированные и термофретированные диски. Материалы роторов и дисков.
<b>P3.T2</b>	Расчет на прочность роторов и дисков	Расчет на прочность ротора барабанного типа. Практические приемы расчета дисков сложного профиля. Метод двух расчетов. Расчет температурных напряжений в дисках турбомашин.
<b>P3.T3</b>	Расчет на прочность роторов и дисков	Расчет посадок дисков. Особенности расчета валов турбомашин. Оценка прочности вала турбины при коротком замыкании ротора генератора. Муфты турбомашин, конструкции, расчет на прочность.
<b>P4</b>	Корпуса турбомашин	
<b>P4.T1</b>	Классификации и конструкции корпусов турбомашин	Классификации и конструкции корпусов турбомашин, схемы опирания и обеспечение свободы термических расширений.
<b>P4.T2</b>	Расчет на прочность на прочность корпуса турбомашин	Расчет корпуса турбомашин: определение толщины стенки. Расчет фланцевых соединений корпусов турбин (расчет затяжки, расчет шпильки на прочность, расчет фланца на изгиб).



<b>P5</b>	Системы маслоснабжения турбин и подшипники	
<b>P5.T1</b>	Системы маслоснабжения турбин	Система маслоснабжения паровой турбины с насосами объемного типа и центробежными насосами. Система маслоснабжения газовой турбины. Турбинные масла. Требования к маслам, свойства турбинных масел и их эксплуатационные характеристики.
<b>P5.T2</b>	Подшипники турбомашин	Классификации подшипников турбомашин. Преимущества и недостатки подшипников скольжения. Факторы, влияющие на несущую способность опорных подшипников скольжения. Принцип работы опорного подшипника. Методика расчета опорного подшипника скольжения.
<b>P6</b>	Колебания механических систем. Колебания лопаток	
<b>P6.T1</b>	Общие вопросы механических колебаний	Понятие о колебаниях. Классификация колебательных систем и колебательных процессов. Общее уравнение движения при колебаниях системы с одной степенью свободы. Свободные колебания системы без трения. Свободные колебания системы с трением. Вынужденные колебания систем под воздействием внешней гармонической силы. Поперечные колебания прямого стержня с распределенной массой (параметрами).
<b>P6.T2</b>	Колебания невращающихся рабочих лопаток	Колебания единичных лопаток. Виды. Формы. Причины колебаний лопаток. Определение частот и форм собственных колебаний единичной лопатки. Влияние различных факторов на частоты собственных колебаний рабочих лопаток.
<b>P6.T3</b>	Колебания вращающихся рабочих лопаток	Частота собственных колебаний вращающейся лопатки. Формы колебаний пакетов лопаток. Напряжения в лопатке при колебаниях. Пакетный множитель. Частота собственных колебаний лопаток переменного профиля. Крутильные колебания лопаток.
<b>P6.T4</b>	Вибронадежность лопаточного аппарата	Вибронадежность лопаточного аппарата. О частотной отстройке лопаток. Вибрационная диаграмма.

<b>P7</b>	Колебания дисков	
<b>P7.T1</b>	Колебания дисков	Формы колебаний дисков. Уравнение изгиба диска при колебаниях. Колебания вращающихся дисков. Диаграмма колебаний вращающегося диска.
<b>P8</b>	Колебания роторов и валов турбомашин	
<b>P8.T1</b>	Критические частоты вращения валов	Критическая частота вращения вертикального и горизонтального вала на примере невесомого вала с одним диском. Критическая частота вращения вала постоянного диаметра. Влияние гироскопического момента диска на частоту собственных колебаний вала.
<b>P8.T2</b>	Колебания роторов	Влияние различных факторов на критические частоты вращения валов турбомашин. Причины колебаний роторов турбомашин.
<b>P8.T3</b>	Автоколебания роторов турбомашин	Самовозбуждающиеся колебания ротора за счет сил масляного возбуждения. Самовозбуждающиеся колебания ротора за счет венцовых сил.
<b>P8.T4</b>	Вибрационное состояние турбоагрегатов	Анализ вибрационного состояния турбоагрегатов. Нормирование вибрации. Нормы вибрации подшипников и валопроводов турбин. Меры снижения вибрации турбоагрегатов.
<b>P8.T5</b>	Вибронадежность турбомашин	Устойчивость роторной системы. Влияние балансировки и неустойчивости свойств ротора на его вибрацию. Крутильные колебания ротора.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Формирование социально-значимых ценностей	общение в социальных сетях и электронной почте в системах «студент-преподаватель», «группа студентов-преподаватель», «студент-	Технология анализа образовательных задач	ПК-5 - Способен принимать обоснованные решения на стадии проектирования деталей, узлов и турбоустановок, разработки тепловых схем турбомашин, используя методы	З-13 - Изложить основные терминологические понятия, связанные с вопросами динамики и прочности деталей турбомашин

	студент», «студент-группа студентов»		тепловых и газодинамических расчетов и САПР	
--	--	--	---	--

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Динамика и прочность турбомашин**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Беляев, С. А.; Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС : учебное пособие.; Издательство Томского политехнического университета, Томск; 2015; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442071> (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. Костюк, А. Г.; Сборник задач по динамике и прочности турбомашин : учебное пособие для студентов [вузов], обучающихся по специальностям "Турбиностроение" и "Динамика и прочность машин".; Машиностроение, Москва; 1990 (20 экз.)
3. Манушин, Э. А., Малинин, Н. Н., Суровцев, И. Г.; Конструирование и расчет на прочность турбомашин газотурбинных и комбинированных установок : Учеб. пособие для вузов.; Машиностроение, Москва; 1990 (11 экз.)
4. Ревзин, Резвин, Б. С.; Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа : Справ. пособие.; Недра, Москва; 1991 (26 экз.)
5. Ларионов, И. Д., Ревзин, Б. С.; Прочность лопаток турбин : Текст лекций.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 1993 (20 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

<http://elibrary.ru> – Научная библиотека Elibrary.ru

#### **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. Официальный интернет-сайт ОАО «Газпром»: <http://www.gazprom.ru/>
2. Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru/>

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Динамика и прочность турбомашин

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость 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 Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	Не требуется
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Персональные компьютеры по количеству обучающихся	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES ANSYS Academic Teaching Mechanical and CFD (25 tasks)
3	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	Не требуется

4	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>ANSYS Academic Teaching Mechanical and CFD (25 tasks)</p>
5	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
6	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	Не требуется